

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Etude et réalisation d'un hacheur
Série à deux thyristors auxiliaires*

Proposé par :
A. MAAZI

Etudié par :
IKHLEF Abdellaziz
LAKHDARI Abdellah

Dirigé par :
A. MAAZI



PROMOTION : Juin 1984

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

—»O«—

وزارة التعليم والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

—»O«—

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

—»O«—

Département : Electrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Etude et réalisation d'un hacheur
Série à deux thyristors auxiliaires*

Proposé par :

A. MAAZI

Etudié par :

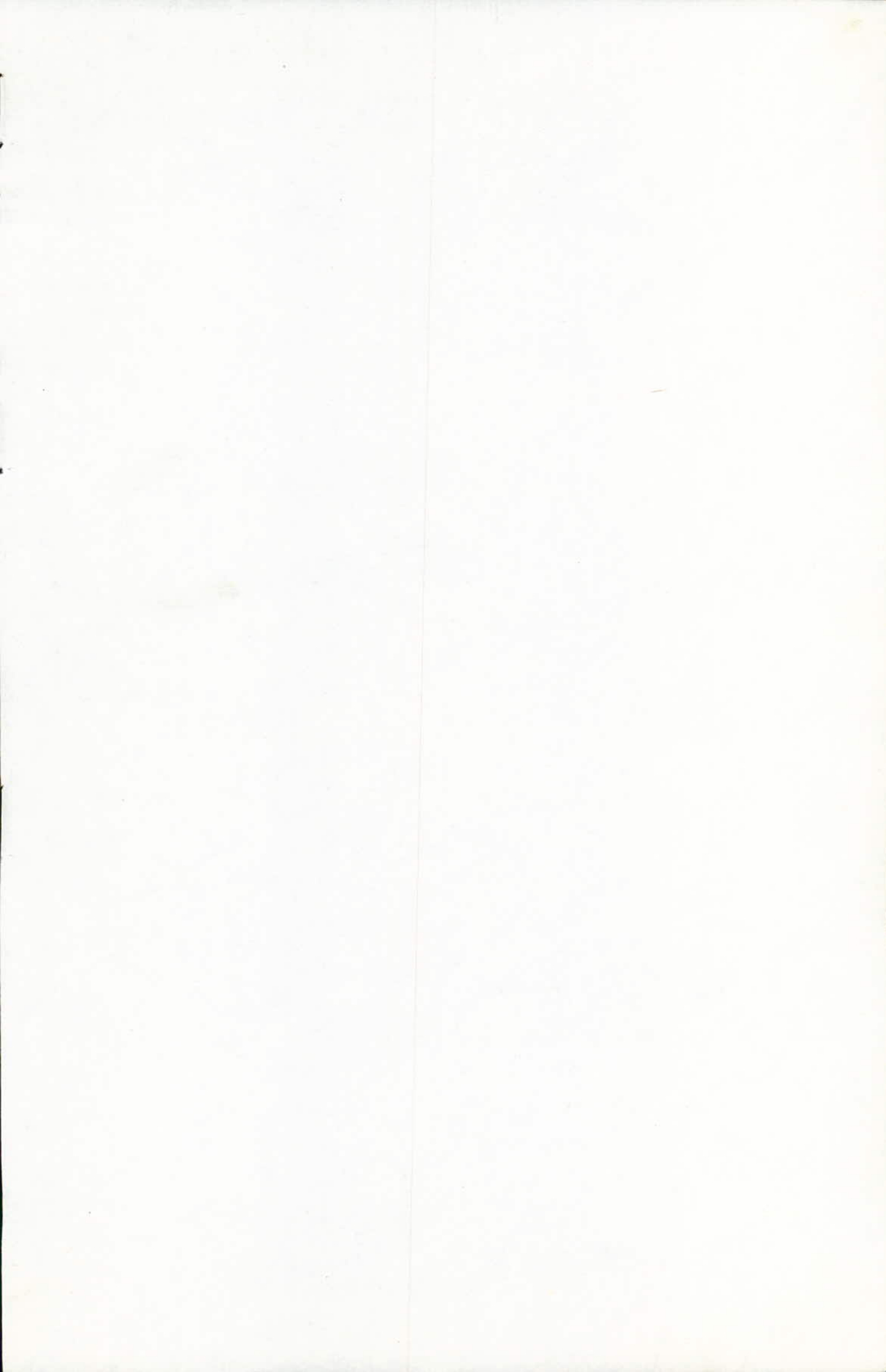
IKHLEF Abdellaziz

LAKHDARI Abdellah

Dirigé par :

A. MAAZI

Promotion : Juin 1984



DEDICACES

A tous ceux qui me sont chers

Abdallah

A la mémoire de mon père

A ma mère

A mes frères et sœurs

A ma famille

A mes Amis (es)

Aziz

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à Mr. H. MAAZI pour nous avoir proposé ce sujet et qui a suivi avec une bienveillante attention tout notre travail. Nos vifs remerciements vont à Mrs BACHA, CHEKIREB et HEMICI, pour nous avoir prodiguer d'utiles conseils qui nous ont permis de mener le projet à sa fin. Nous remercions également tout le personnel du laboratoire d'électronique du Lycée Technique de Ruisseau, pour son aide qu'il a offert et tous ceux qui ont contribué, de si peu soit-il, à la mise en œuvre de ce polycopié.

Tous ceux qui ont contribué à notre formation trouvent ici notre sincère gratitude.

Abdallah et 1313

INTRODUCTION

Le travail qui nous a été confié, consiste à l'étude et à la réalisation de la maquette d'un Hacheur dévolteur qui sera destinée à usage didactique (Module FEN 185).

Nous avons jugé utile de surdimensionner notre système à Thyristors pour lui assurer une meilleure protection.

Pour la commande de ce hacheur, nous lui avons conçu une alimentation stabilisée incorporée pour la commodité de la manipulation.

Le développement des semi-conducteurs de puissance a permis le remplacement progressif des convertisseurs dynamiques, volumineux, coûteux et bruyants par un dispositif électronique qu'on appelle hacheur.

Nous avons étudié le hacheur série qui permet de transformer une tension continue de valeur fixe (lignes de traction, batterie d'accumulateurs ...) en une tension continue réglable permettant la commande d'un moteur à courant continu.

Tout au long de cette étude, nous avons adopté un plan constitué de quatre chapitres.

Chapitre I : Généralités sur les semi-conducteurs.

Chapitre II : Étude théorique d'un hacheur dévolteur.

Chapitre III : Réalisation du circuit de puissance (hacheur).

Chapitre IV : Réalisation de la commande électronique du hacheur.

CHAPITRE -I-

Généralités sur Les Semi-Conducteurs

I. 1 Introduction.

L'objet de cette étude n'étant pas les Semi-Conducteurs en général. Mais seulement leurs applications dans les montages Convertisseurs, nous n'étayerons pas ce sujet.

Néanmoins nous nous étalerons sur l'élément redresseur essentiel de notre travail, il s'agira du Thyristor et à un degré moindre la diode.

Les Semi conducteurs prennent comme définitions une Conduction intermédiaire entre la Conductivité des Conducteurs (métaux) et la Conductivité des isolants.

I. 2 La diode.

La diode est un semi-conducteur constitué par une jonction PN: Quand la tension à ses bornes est positive elle tend à faire passer le courant, c'est son état passant, et se bloque quand cette tension est négative.

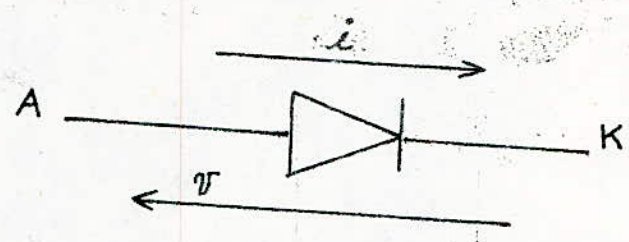
I.2.2. Symbole et Caractéristique tension-courant d'une diode fig(1A)

La tension à ses bornes est $V_d = V_0 + R_d I_d$.

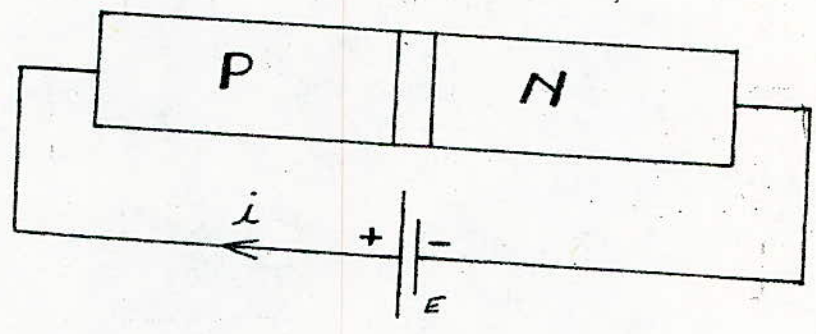
où R_d est la résistance dynamique, elle est donnée par l'inverse de la tgo.

V_0 = tension seuil

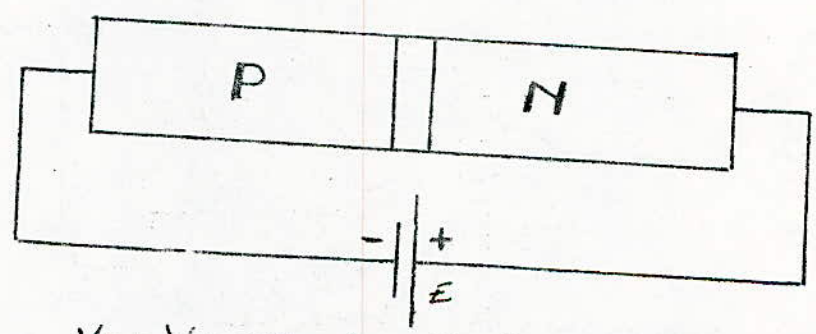
I_d = Courant direct.



Symbole d'une diode



$V_p - V_n > 0$ la diode conduit



$V_p - V_n < 0$ la diode est bloquée

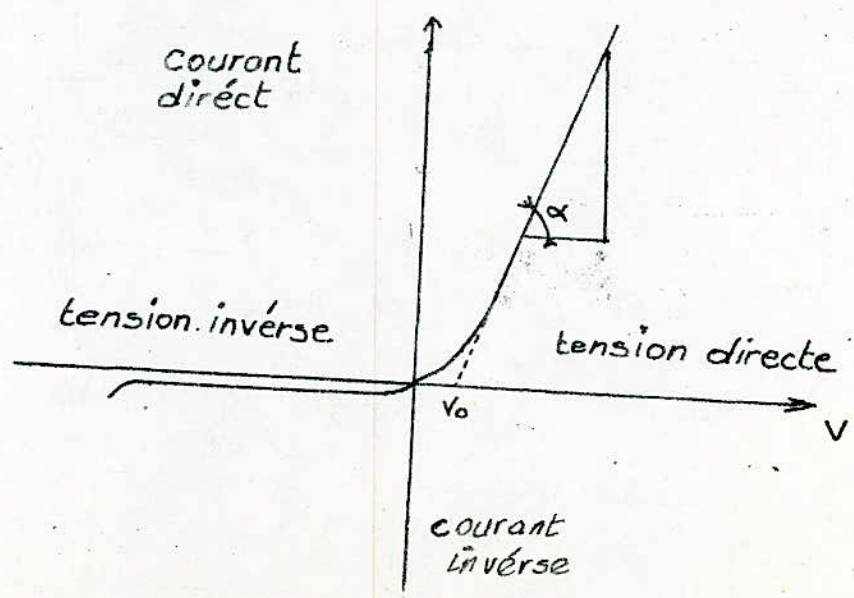


fig (I. 1) : Caractéristique d'une diode

1.3 Le Thyristor.

Le thyristor est une diode commandée. Dans sa caractéristique inverse est équivalent à une diode, dans sa caractéristique directe, il présente deux états.

Il peut être conducteur ou non conducteur fig(1.2)
 Pour le rendre conducteur, il faut provoquer l'amorçage par l'électrode de commande appelée gâchette.

1.3.1 Constitution

Le thyristor est constitué de quatre couches de silicium alternativement P et N, comportant une électrode de commande fig(1.2)

- Couche d'anode (a)
- Couche de blocage (b)
- Couche de commande (c)
- Couche de cathode (d).

1.3.2 Schéma de principe et commande de puissance en continu fig(1.3)

Lorsque l'anode est positive par rapport à la cathode, la jonction de commande (J_c), bloque le thyristor.

Si l'on fait passer une impulsion positive de courant entre la gâchette et la cathode, celle-ci fait effondrer la barrière de potentiel de la jonction de commande et le thyristor devient conducteur.

La conduction ne cesse que lorsque le courant devient

inférieur à une certaine valeur I_H , dite courant de maintien.

Remarque:

Le thyristor conducteur ne peut être bloqué par sa gâchette, il est bloqué seulement par l'inversion ou l'interruption de la tension d'anode.

I.3.3. Symbole et Caractéristique Statique d'un thyristor. fig(I.4)

I_d : courant direct, V_d : tension directe

La caractéristique tension-courant d'un thyristor est une fonction, reliant la tension d'anode au courant principal avec comme paramètre, courant de gâchette

a) Point de Retournement (B)

C'est le point de la courbe où la tension directe atteint une valeur maximale.

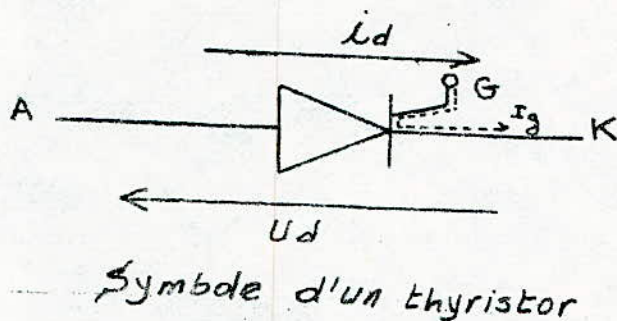
b) Courant de Retournement (I_{Bo})

C'est le courant correspondant au point B.

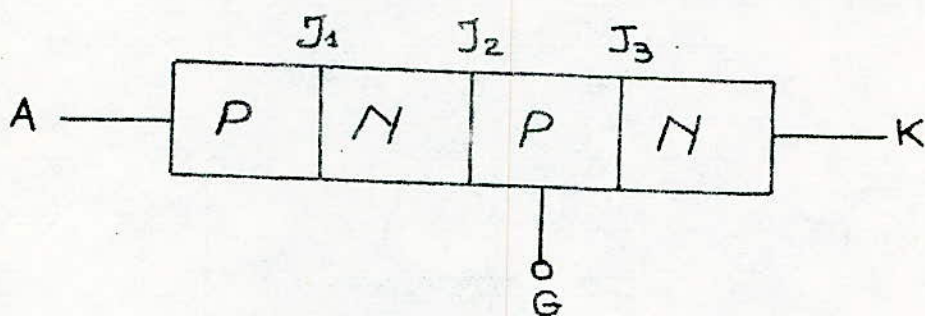
c) Courant de maintien (I_H)

C'est le courant principal: minimal nécessaire pour maintenir, le thyristor à l'état passant.

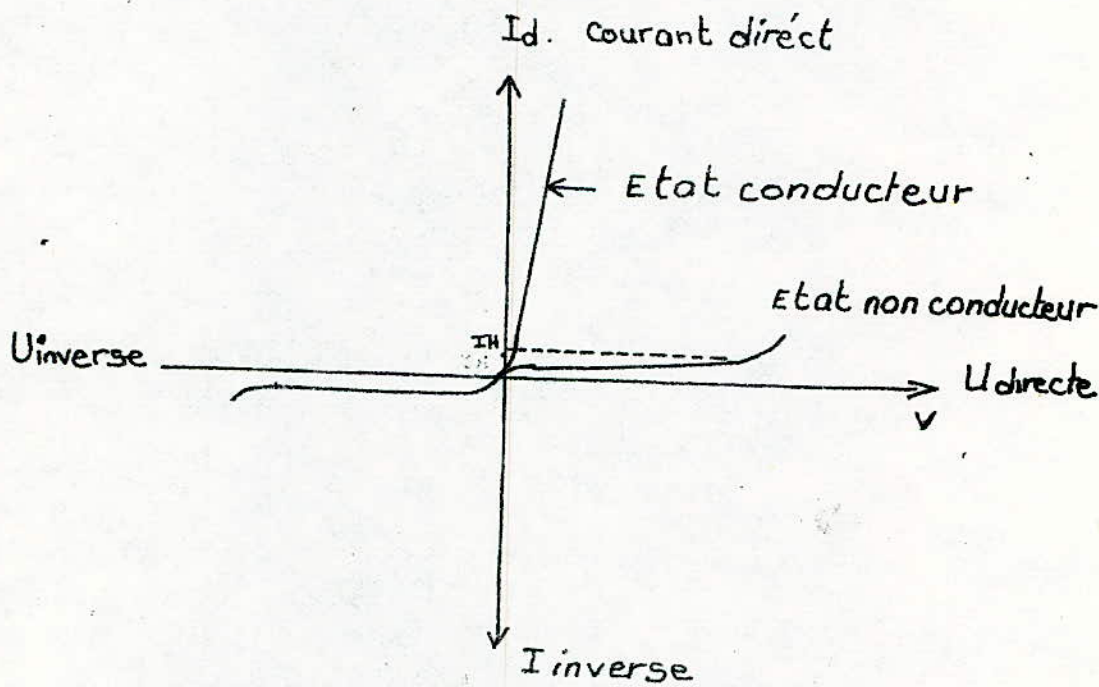
Selon la caractéristique fig(I.4) on distingue trois courbes différentes.



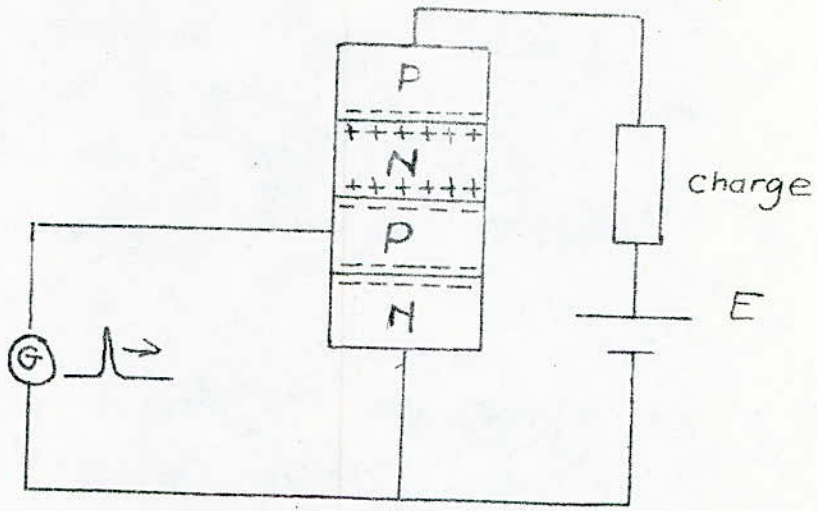
symbole d'un thyristor



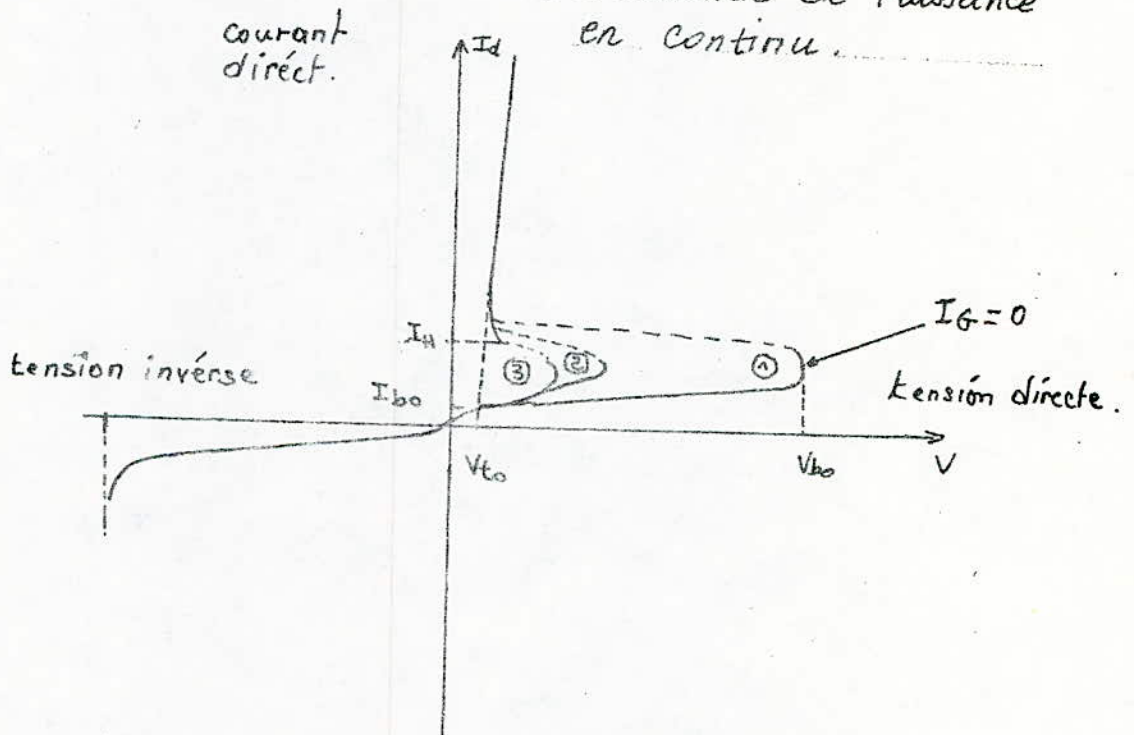
fig(I. 2)



caractéristique tension-courant d'un thyristor.



fig(1.3) : schéma de Principe et
Commande de Puissance
en Continu.



fig(1.4) : Caractéristique Statique
d'un thyristor.

- Courbe 1 obtenue pour $I_G = 0$
- Courbes 2 et 3 obtenues pour $I_G \neq 0$ et $I_{G2} < I_{G1}$.

La figure nous montre que la tension d'avolanche diminue lorsque le courant de gâchette augmente.

En l'absence de commande le thyristor ne s'amorce que pour une tension directe V_{bo} élevée.

- Remarque :

Pour $I_G = 0$, le point de retournement (B) correspond à la tension maximale appliquée aux bornes du thyristor à partir de laquelle l'amorçage est indépendant de la commande.

I.3.4. Caractéristiques dynamiques.

Elles concernent les temps relatifs à l'amorçage et au blocage (parfois nommés paramètres de commutation), et ainsi que les vitesses de croissance de la tension d'anode $\frac{dV}{dt}$ et du courant d'anode $\frac{di}{dt}$.

I.4.1 Phénomène d'amorçage

C'est le passage de l'état bloqué à l'état conducteur, du thyristor.

I.4.2 Mécanisme de conduction d'un thyristor.

a) Amorçage par la gâchette.

Le maintien à l'état bloqué d'un thyristor et son passage à l'état conducteur, se situent seulement au

niveau de la jonction J_2 et de la jonction J_3 fig (1.5).
L'anode doit être polarisée positivement par rapport à la cathode.

Lorsqu'une impulsion positive est appliquée entre la gâchette et la cathode, la jonction J_3 , schématisée par la diode D_3 , va se trouver polarisée dans le sens passant, un courant direct va circuler suivant la flèche (a) fig (1.5).

Un courant d'électrons va s'établir de la couche de cathode vers la couche de commande, effondre la barrière de potentiel de J_2 . Une avalanche électronique s'étend sur toute la surface de la jonction et conduit le dispositif à l'état passant.

I.4.3 Amorçage sans courant de Gâchette.

En l'absence du courant de gâchette, le thyristor ne s'amorce que pour une tension directe très élevée. Lorsque cette tension est atteinte, l'amorçage se fait par avalanche électronique au niveau de la jonction J_2 . Cet amorçage est en général non désiré.

I.4.4 Temps d'amorçage par la gâchette (t_{gt}):

C'est la durée pendant laquelle le thyristor est commuté de son état bloqué à son état passant, résultant d'une impulsion de gâchette (norme)
Le temps d'amorçage t_{gt} est défini comme temps

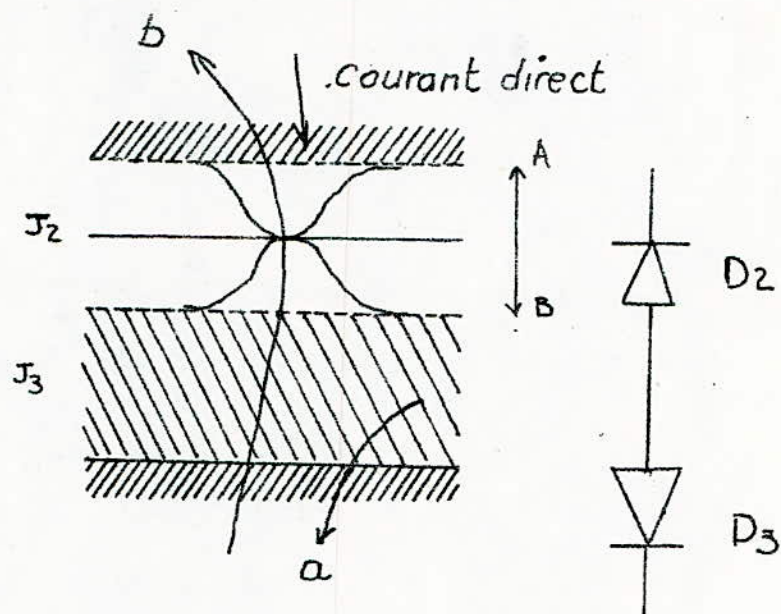
entre 10% de la valeur finale de l'impulsion de gâchette et 10% de la valeur initiale de la tension d'anode (V_a).

C'est aussi la somme des temps de retard t_d et du temps de croissance t_r $t_{gt} = t_d + t_r$.

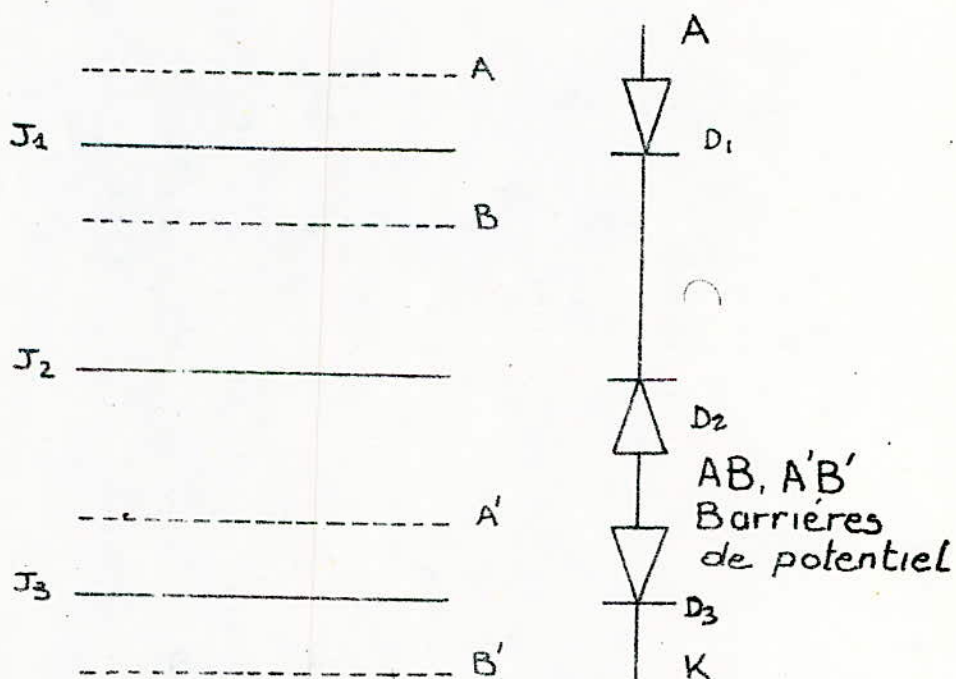
Généralement t_d est défini entre 10% de l'impulsion de gâchette et 90% de la tension d'anode, et t_r est défini entre 90% lors de la décroissance de la tension d'anode. fig (I.7)

I.4.5. Mécanisme de désamorçage.

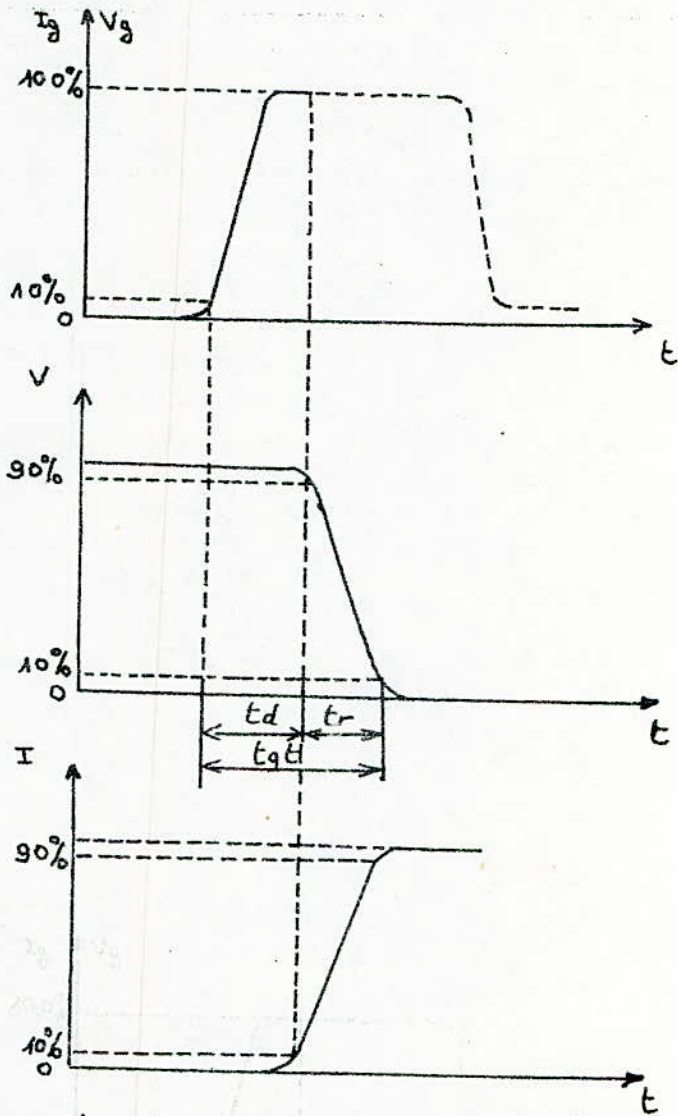
- La conduction étant établie dans un thyristor, ce dernier ne peut retrouver son état bloqué que si le courant direct soit inférieur à I_h fig (I.6). Cette condition est obtenue par l'interruption ou l'inversion des polarités de la tension anode-cathode. Les électrons vont brusquement changer leur parcours pour donner naissance à un courant inverse. Toutes les couches étant envahies de porteurs libres, les barrières de potentiel vont se reformer au niveau des jonctions J_1 et J_2 , la conduction s'arrête. Pour avoir à l'instant voulu l'inversion de la tension anode-cathode du thyristor conducteur, il faut faire appel à un circuit auxiliaire de commutation (cas du courant continu). Lorsque la tension appliquée au convertisseur statique



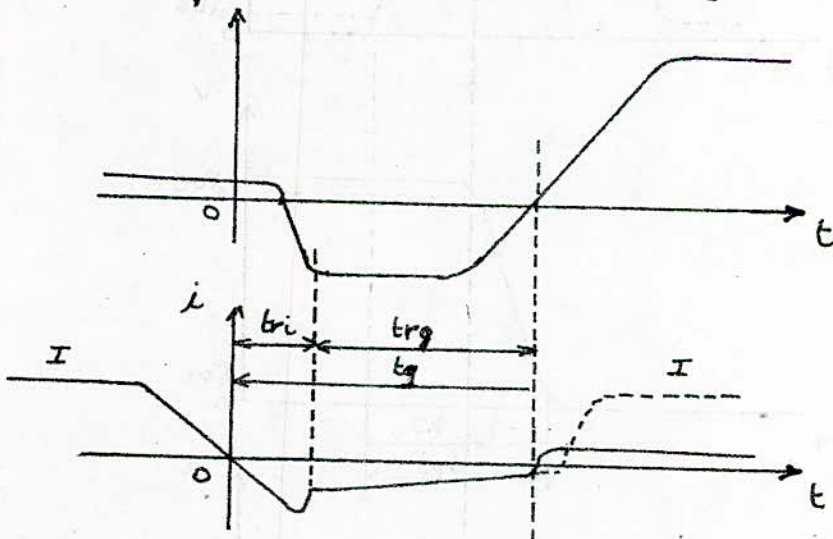
fig(I.5): Mécanisme de conduction d'un thyristor



fig(I.6): Mécanisme de blocage d'un thyristor



fig(1.7): Diagramme des tensions et courants à l'amorçage (temps d'amorçage par la gachette)



fig(1.8): Diagramme des tensions et courants pendant le désamorçage (temps de désamorçage)

est alternative la commutation est naturelle.

I.4.6 Temps de désamorçage : t_q fig (1.8)

C'est le temps écoulé entre l'instant où le courant principal est devenu nul, après commutation extérieure, et l'instant où le thyristor est susceptible de supporter une tension d'anode sans se réamorcer (Norme).

t_q : est donc le temps nécessaire pour que la jonction J_c du thyristor redevienne capable, après l'annulation du courant d'anode de soutenir une tension inverse élevée.

Le temps de désamorçage se compose de :

- le temps de recouvrement inverse (t_{ri})
- le temps de recouvrement à la gâchette (t_{rg}).

$$t_q = t_{ri} + t_{rg}.$$

I.5.1 Pertes dans un thyristor fig (1.9)

Les pertes apparaissant dans un élément redresseur sont d'origine électrique, elles sont dues aux chutes de tension et aux courants lorsque le thyristor est sous tension.

Selon le mode de fonctionnement, elles peuvent être ramenées à quatre types.

- Pertes apparaissant pendant la conduction, (tension directe et courant direct). Elles sont d'ailleurs les plus importantes (courbe 1).
- Pertes apparaissant pendant l'état bloqué, aussi bien

Sous tension directe que sous tension inverse, elles sont généralement négligeables (courbe 2).

- Pertes dues à la commutation de l'état bloqué à l'état conducteur, ou de l'état conducteur à l'état bloqué, elles sont aussi négligeables (courbe 3).

- Pertes dans la jonction gâchette cathode (tension et courant au circuit de la gâchette) négligeables.

I.5.2. Protection des Thyristors

Pour assurer un bon fonctionnement d'un équipement il est indispensable de prévoir la protection des thyristors contre les contraintes qui leur sont appliquées aux cours d'exploitation.

a) Protection contre les Surtensions.

Les éléments redresseurs sont très sensibles aux surtensions. Un circuit RC placé en parallèle avec chaque thyristor permet de limiter la croissance de la tension $\frac{dU}{dt}$ aux bornes de l'élément redresseur.

b) Protection contre Les Surintensités.

Les pertes dues aux courants trop forts provoquent un échauffement de la jonction et causent la destruction du Thyristor.

Les surintensités peuvent être éliminées à l'aide d'un fusible placé en série avec chaque Thyristor.

c) Protection contre l'échauffement.

Les semi-conducteurs sont très sensibles à une température interne trop élevée.

Pour protéger les éléments redresseurs contre l'échauffement on utilise un radiateur à ailettes sur chaque thyristor, fait en aluminium, celui-ci évacue la chaleur naturellement. fig(I.10)

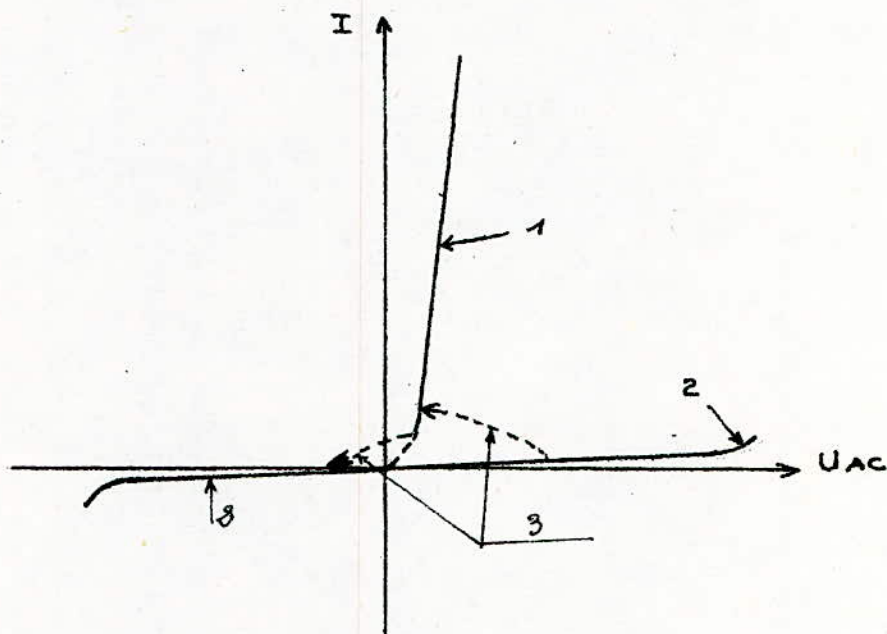


fig (I.9)

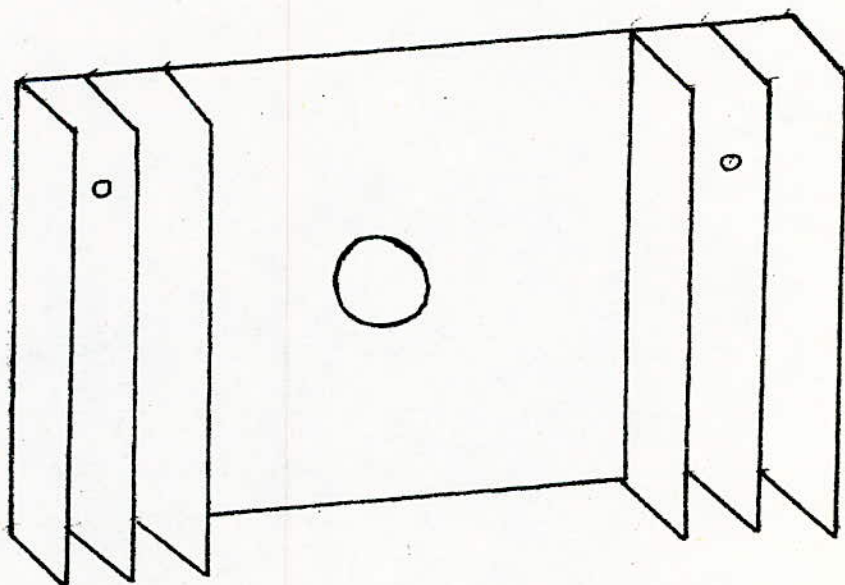


fig (I.10)

CHAPITRE -II-

CONVERTISSEUR CONTINU-CONTINU (HACHEUR)

III.1.1 Définition

Le Hacheur est un interrupteur que l'on place en série ou en parallèle avec l'utilisation, il permet la commande continue et à faibles pertes des moteurs à courant continu.

II.1.2. Principe d'un Hacheur Série.

Le Hacheur série ou dévolteur permet à partir d'un réseau à courant continu d'alimenter une charge sous une tension continue et réglable.

La valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge dépend, de la durée de fermeture (θ) et de la durée d'ouverture (t_0) de l'interrupteur H fig (II.1)

Cette tension moyenne peut varier, d'une valeur nulle jusqu'à la tension d'alimentation E

$$U_{\text{moy}} = \frac{\theta}{T} E \quad U_{\text{moy}} = \alpha E \quad \alpha = \frac{\theta}{T}$$

avec $0 < \alpha < 1$

E = Tension d'alimentation

θ = Temps de conduction

T = Période de hachage

α = Rapport cyclique, Croit de 0 à 1

toutes fois Les valeurs extrêmes ne sont pas atteintes.

II. 1.3. Principe d'un Hacheur parallèle.

Le montage d'un Hacheur en parallèle consiste à mettre périodiquement en court-circuit la charge pendant une durée $\theta = \alpha T$ bien déterminée fig (II 2).

L'inductance (L_s) à l'entrée du Hacheur atténue le courant i_s débité par la source.

En supposant $i_s = I_s = \text{cte}$.

- quand le Hacheur conduit $0 < t < \alpha T$, $u = 0$, $i = 0$

- quand le Hacheur est ouvert $\alpha T < t < T$, $u = Ri_s = RI_s$

d'où $U_{\text{moy}} \times T = RI_s (T - \alpha T)$

$$U_{\text{ch}} = U_{\text{moy}} = R(1 - \alpha) I_s = R' I_s \quad R' = R(1 - \alpha)$$

où R' est la résistance fictive

A l'aide de la surtension due à l'ouverture du Hacheur traversé par un courant d'un circuit inductif, on peut alimenter un récepteur sous une tension réglable, supérieure à celle de la source (Hacheur survolteur).

Ce montage est utilisé en traction électrique, pour contrôler le freinage d'une machine à courant continu.

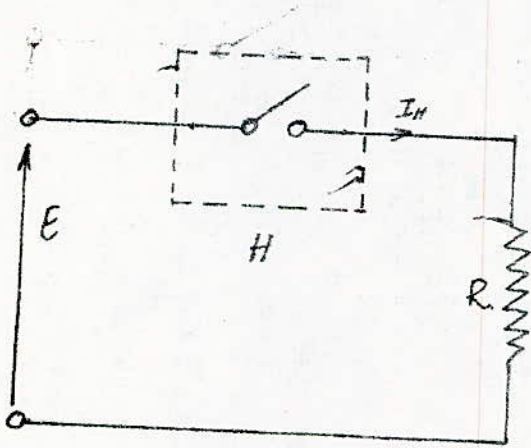
II. 1.4. Puissance transférée.

Pour les deux montages (série ou parallèle) le transfert de puissance se fait sans pertes notables.

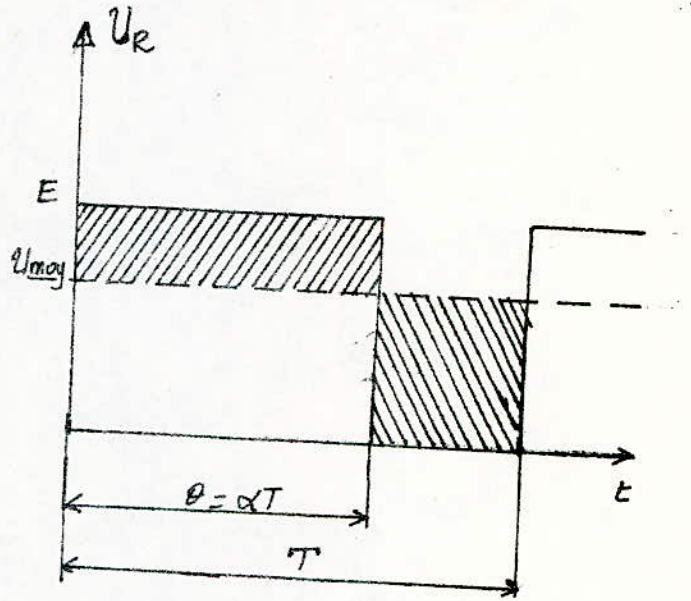
En pratique pour les Hacheurs de puissance (tension E supérieure à 100V), les diverses chutes de tensions sont négligeables, le rendement est supérieur à 90%.

$$P_e \approx P_s \quad P_e = E \cdot I_H \quad , \quad P_s = U_{\text{moy}} \cdot I_{\text{moy}}$$

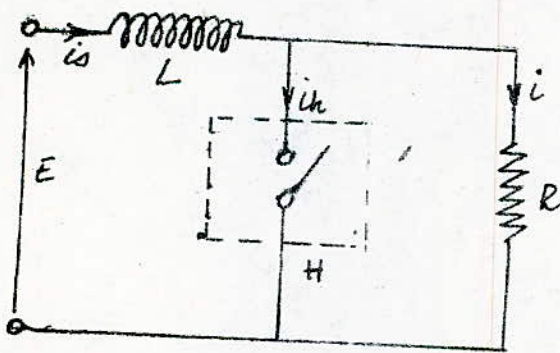
fig (II.1)



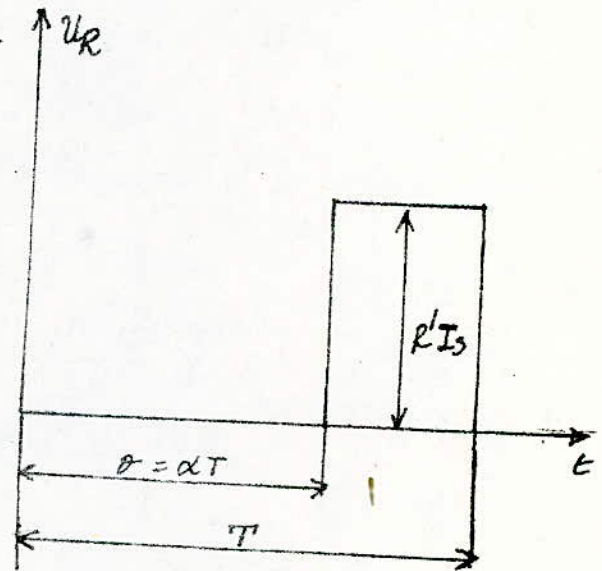
Hacheur série



tension aux bornes de la charge.



Hacheur parallèle



tension aux bornes de la charge

fig (II.2)

II.2.1. Schéma de Principe d'un Hacheur Série

On ne dispose d'une source d'alimentation en courant continu de valeur fixe $v = E$. Pour faire varier la valeur moyenne (U_{moy}) de la tension u aux bornes d'un récepteur, on réalise l'équivalent statique du montage avec interrupteurs. fig (II.3).

Les deux interrupteurs doivent être complémentaires.

K_1 fermé, K_2 ouvert : on applique à la charge la tension E de la source.

K_1 ouvert, K_2 fermé : on met la charge en court-circuit.

- La présence de K_2 est indispensable, sinon on risque d'avoir des surtensions ($e = -\frac{dd}{dt}$) à chaque manœuvre de K_1 , dues à l'énergie emmagasinée dans l'inductance du récepteur.

II.2.2. Fonctionnement.

On ferme K_2 pendant un temps (θ) puis on l'ouvre pendant un temps ($T - \theta$).

Le récepteur est alors soumis à une différence de potentiel u ayant une forme impulsionnelle (rectangulaire) dont la valeur moyenne est $U_{moy} = \frac{\theta}{T} E$.

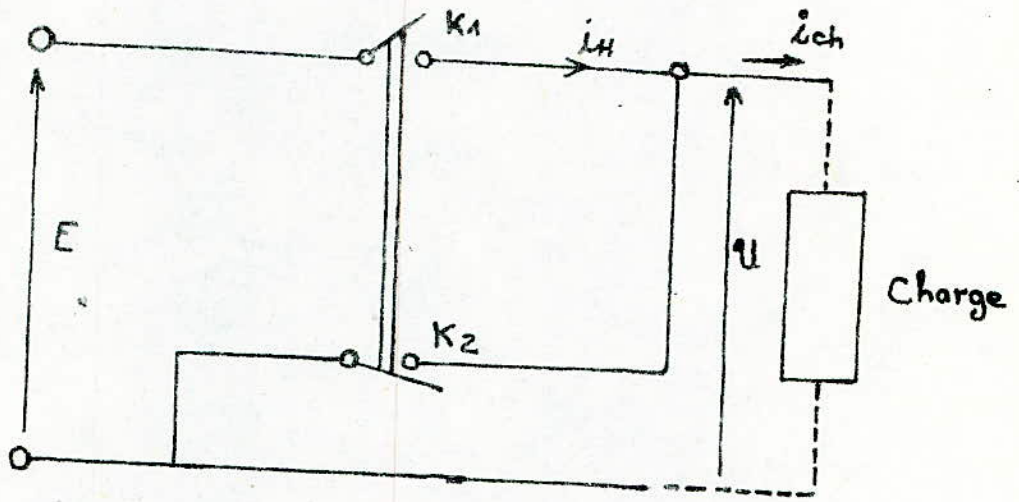
- quand K_2 est fermé $\theta < t < \theta$ $u_{ch} = E$

- quand K_1 est ouvert $\theta < t < T$ $u_{ch} = 0$

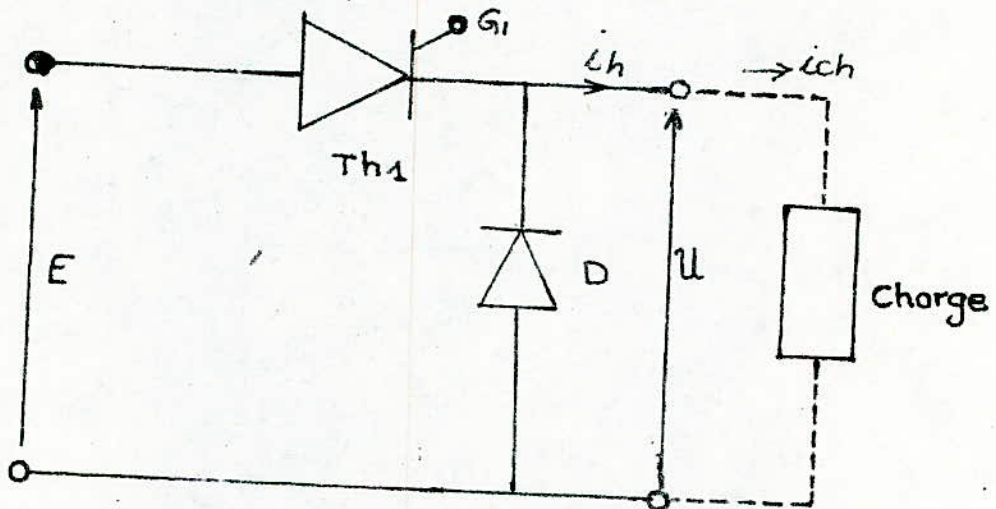
la tension moyenne aux bornes de la charge pendant

une période est : $U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T E dt = \frac{1}{T} \int_0^\theta E dt = \frac{\theta}{T} E$

$$U_{moy} = \alpha E$$



fig(2.3): Schéma de Principe d'un Hacheur



fig(2.4): Schéma de Principe avec les éléments Réels

II.2.3. Schéma de Principe avec Les éléments Réels

Pour réaliser le convertisseur statique équivalent au schéma de la fig (II.3), on remplace l'interrupteur K_2 par la diode de roue libre D , l'interrupteur K_1 par un thyristor Th_1 fig (II.4). On a alors présence de deux commutations à opérer à chaque période.

a) Commutation thyristor-diode.

Le Hacheur Conduit, à l'instant $t = \alpha T$, la commutation thyristor-diode est forcée.

Le débit de D rend la tension aux bornes de Th_1 égale à $+E$. Pour pouvoir provoquer le blocage de ce thyristor, il faut prévoir un circuit auxiliaire d'extinction.

b) Commutation diode-Thyristor.

Lorsque D conduit, la tension aux bornes de Th_1 est égale à $+E$. Si on fait passer une impulsion sur la gâchette de Th_1 , ce dernier devient conducteur et rend la tension aux bornes de la diode égale à $-E$, D se bloque. Le courant i passe de D à Th_1 .

II.2.4. Schéma de Principe avec Le circuit auxiliaire fig (II.5).

a) Rôle de La diode de roue libre.

La charge utilisée est généralement un circuit résistant et inductif en série avec une f.c.e.m dans le cas

du moteur à courant continu.

L'énergie électromagnétique emmagasinée dans l'inductance pendant la conduction est très importante ($w = \frac{1}{2} L I^2$), elle risque d'endommager le circuit de puissance lors de l'ouverture ou de la fermeture de (H).

La diode de roue libre placée en antiparallèle avec la charge, permet au courant moteur de se refermer à travers elle, lorsque le hacheur est ouvert.

La conduction s'arrête, soit au désamorçage naturel de la diode lorsque le moteur a absorbé toute l'énergie, soit en conduction continue jusqu'au réamorçage de T_{hs} .

b) Emploi du Condensateur d'extinction.

dans les variateurs de courant continu à commutation forcée, le passage du courant d'un élément redresseur à l'autre est provoqué par la décharge du condensateur.

Ce dernier, à l'aide de l'allumage du thyristor auxiliaire T_{hs} fig (1.6) met le thyristor principal T_{hs} sous une tension inverse et le conduit à l'état bloqué.

c) Emploi d'une inductance d'inversion

on bloque le thyristor principal en lui appliquant la tension inverse du condensateur. Mais la charge de celui-ci pendant l'intervalle de commutation, ne lui donne pas la tension de polarité convenable, il faut donc inverser cette tension.

Pour cela on utilise la décharge du condensateur dans un circuit oscillant peu amorti comportant le thyristor auxiliaire Th_3 .

Il faut donc successivement charger le condensateur inverser sa tension, appliquer la tension inversée à Th_1 .

II.2.5. Fonctionnement

- Première mise sous tension

Au départ on doit éviter l'allumage du thyristor principal Th_1 , car on ne peut plus le bloquer que par la source d'alimentation.

a) Conduction de Th_2

On amorce Th_2 , ce qui donne dans la charge un courant très bref et charge le condensateur à une tension sensiblement égale à $V = +E$.

b) Conduction de Th_3 .

Le condensateur étant chargé avec les polarités indiquées entre parenthèses fig (II.5).

En amorçant Th_3 , il se décharge à travers l'inductance (L).

L'équation électrique régissant le circuit oscillant pendant le régime transitoire est $LCV'' + V = 0$, qui admet comme solution $V_e = E \cos \omega_e t$.

Au bout d'une demi-pseudopériode le condensateur (C) se trouve chargé sous une tension sensiblement

égale à $v_c = -E$, le courant tend à devenir négatif, Th_3 se bloque de lui-même.

c/ Conduction du Thyristor principal (Th_1)

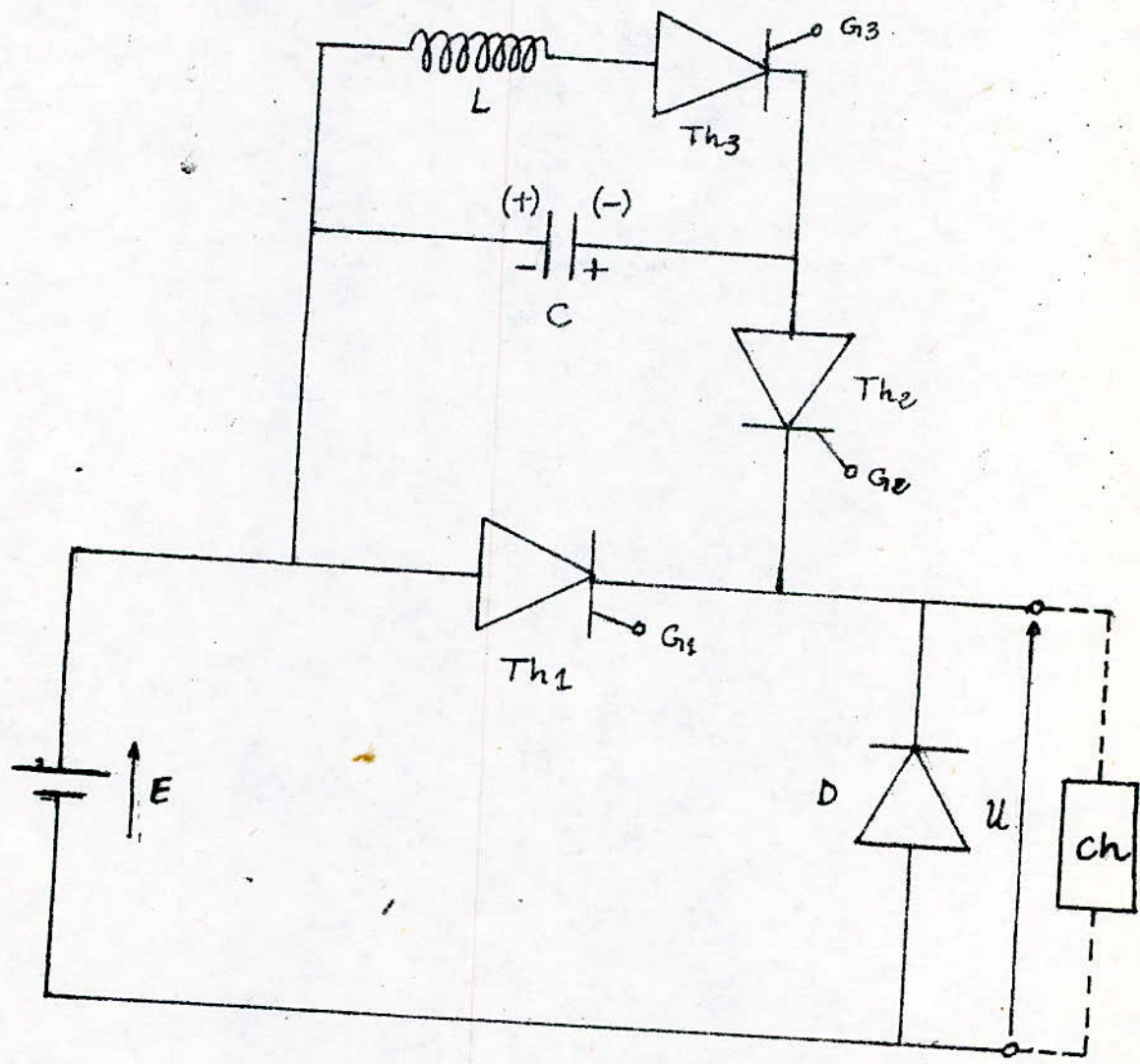
Après avoir obtenu la charge inverse du condensateur on amorce Th_1 , ce qui donne un courant constant dans la charge.

d/ blocage de Th_1 .

Pour bloquer Th_1 , il suffit d'amorcer Th_2 , le condensateur se décharge à travers le récepteur, met Th_1 sous une tension inverse, ce dernier se bloque.

Le courant instantané dans la charge vaut initialement $\frac{2E}{R}$ Va se refermer à travers Th_2 etc, puis tend exponentiellement vers zéro, Th_2 se bloque de lui-même fig (I.9)

La diode de roue libre qui jusqu'alors supportait une tension inverse devient conductrice.



fig(II.5)
Schéma d'un Hacheur à deux thyristors
auxiliaires Th_2 et Th_3 .

II.3.1. Différents procédés de Hachage.

- La tension moyenne aux bornes de la charge peut-être réalisée par 3 manières

a) Fréquence fixe.

On fait varier le temps de conduction (θ), en agissant simultanément sur la durée d'ouverture (t_o) de manière que la somme $\theta + t_o$ correspondant à la période de pulsation $T_p = \frac{1}{f_p}$ reste constante fig (II.5a).

b) Fréquence variable, durée de conduction fixe.

On peut obtenir une fréquence variable par manœuvre de l'interrupteur (H), mais en le laissant fermé, toujours pendant un même temps fixe fig (II.6b).

c) Fréquence et durée de conduction variables.

même cas qu'en (b), mais le temps de conduction variable. fig (II.5c).

II.3.2. Choix de La fréquence de Hachage.

dans notre étude nous nous limitons au premier cas (a), celui-ci étant le plus utilisé dans la pratique.

a) influence de la fréquence sur Les composants du Hacheur.

On a vu au chapitre I que dans les semi-conducteurs, les pertes résultent essentiellement de la conduction et des

Commutation. Augmenter la fréquence revient donc à augmenter les pertes.

b) INFLUENCE de La fréquence Sur Le Moteur

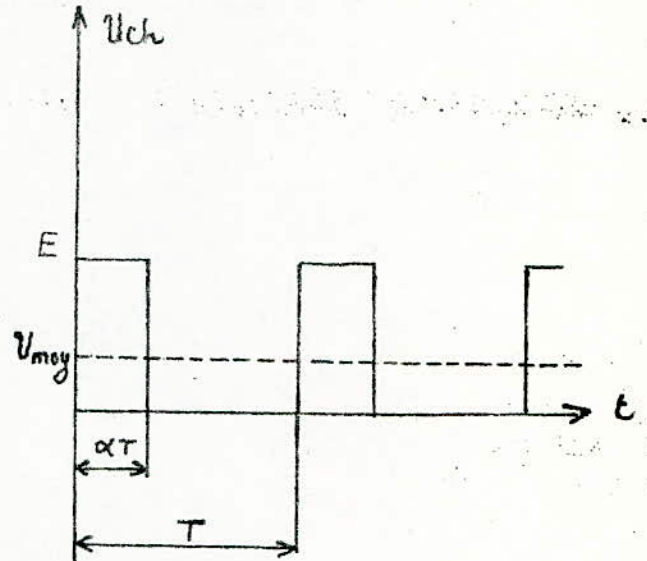
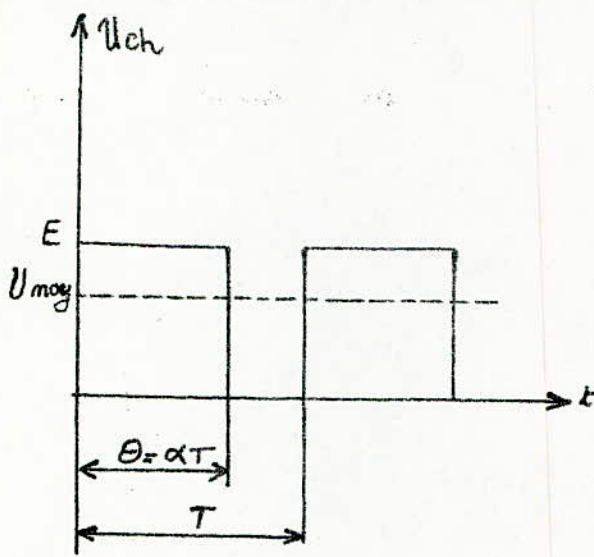
L'ondulation du courant est liée à la constante de temps du moteur et à la fréquence de hachage.

Elle affecte, les pertes supplémentaires et la qualité de la Commutation.

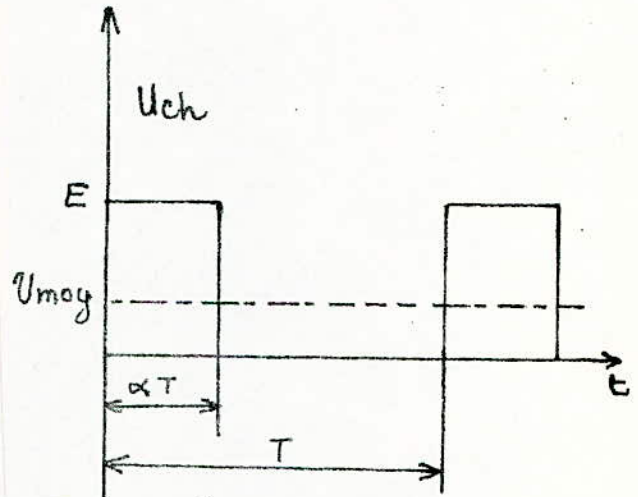
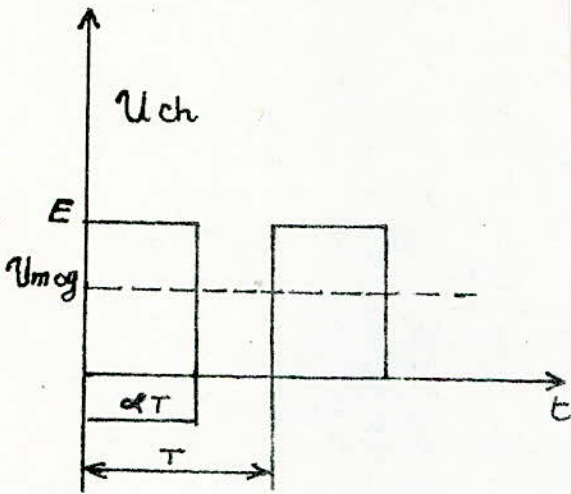
Pour une fréquence trop basse, l'ondulation du courant devient importante. Dans ce cas il faut prévoir une inductance de lissage, qui peut être lourde, onéreuse et encombrante, ce qui n'est pas désiré.

Relativement à ces deux cas envisagés on choisira pratiquement une fréquence qui nous donnera de bons résultats.

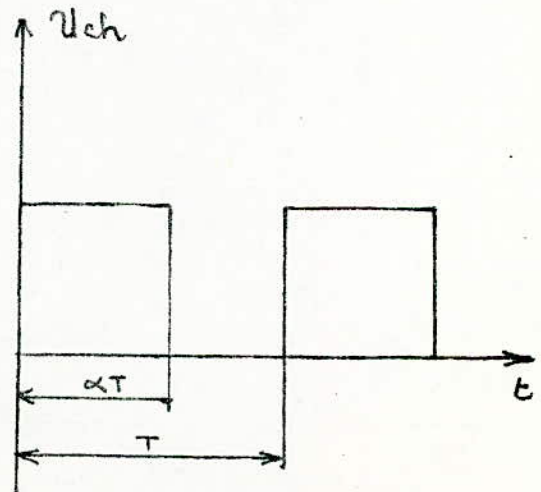
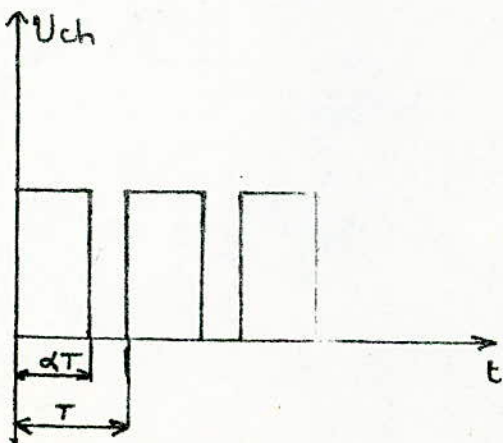
fig (II.6)



a/ fréquence fixe



b/ fréquence fixe, durée de conduction variable



c/ fréquence et durée de conduction variables

II.4. CALCUL du courant de charge. Fig(2.7).

a/ Récepteur purement résistif.

La tension aux bornes de la charge est $U_{ch} = U_{moy} = E \frac{\theta}{T}$

$$\frac{\theta}{T} = \alpha \quad \text{d'où} \quad U_{ch} = \alpha E. \quad 0 < \alpha < 1$$

$$\text{L'intensité du courant est } I_{ch} = \frac{\alpha E}{R}.$$

b/ Récepteur passif de constantes R et L

quand le Hacheur conduit $0 < t < \alpha T$,

l'équation vérifiant le circuit est $Ri + L \frac{di}{dt} = E$

Après tout calcul on trouve:

$$i = \frac{E}{R} + \left(i_0 - \frac{E}{R} \right) e^{-t/\tau} \quad \text{avec } \tau = L/R.$$

i_0 : courant initial à $t=0$

pour $\alpha T < t < T$ D court-circuit le récepteur

$$i = i_{\alpha T} e^{-\frac{(t-\alpha T)}{\tau}}$$

de la continuité de i et de sa périodicité on déduit

$$\text{que: } i_{max} = i_{\alpha T} = \frac{E}{R} \frac{1 - e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}}{1 - e^{-T/\tau}}$$

$$i_{min} = i_0 = i_{\alpha T} e^{-\frac{(1-\alpha)T}{\tau}}$$

puisque $i_{moy} = U_{moy}/R = \alpha E/R$, le coefficient d'ondulation K_0 a pour expression.

$$K_0 = \frac{i_{max} - i_{min}}{2 U_{moy}} = \frac{1}{2\alpha} \frac{1 - e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}}{1 - e^{-T/\tau}} \left(1 - e^{-\frac{(1-\alpha)T}{\tau}} \right)$$

- Remarque:

L'ondulation du courant est d'autant plus forte que T/τ est plus grand et α plus réduit.

c/ Récepteur actif, de f.c.e.m E'

pour $0 < t < \alpha T$, le Hacheur conduit, la loi d'ohm appliquée au circuit donne.

$$E = E' + Ri + L \frac{di}{dt}$$

E' : f.c.e.m. du moteur

L : Inductance du récepteur.

R : Résistance du moteur.

$$\text{Soit } \frac{E-E'}{R} = i + \tau \frac{di}{dt}$$

La solution générale de l'équation est:

$$i = I_1 e^{-t/\tau} + \frac{E-E'}{R} \quad \text{avec } \tau = L/R.$$

Soit I_1 la valeur du courant minimal.

$$i = \left(I_1 - \frac{E-E'}{R} \right) e^{-t/\tau} + \frac{E-E'}{R}$$

Soit I_2 la valeur du courant maximal ($t = \alpha T$)

$$I_2 = \left(I_1 - \frac{E-E'}{R} \right) e^{-\alpha T/\tau} + \frac{E-E'}{R} \quad (1)$$

lorsqu'on ouvre H, la diode de récupération établit un court-circuit aux bornes du récepteur.

on a alors $E = 0$

le courant devient $i = \left(I_2 + \frac{E'}{R} \right) e^{-t/\tau} - \frac{E'}{R}$

(avec une nouvelle origine de temps)

le courant final du temps de blocage est égal au courant initial du temps de conduction.

$$I_1 = \left(I_2 + \frac{E'}{R} \right) e^{-T_2/\tau} - \frac{E'}{R} \quad (2)$$

Par approximation linéaire

$e^{-x} \approx 1 - x$ en se limitant au premier ordre.

nous obtenons
$$I_2 + \frac{E'}{R} = \left(I_1 + \frac{E'}{R}\right) \left(1 - \frac{T_1}{\tau}\right) + \frac{E}{R} \frac{T_1}{\tau} \quad (3)$$

$$I_1 + \frac{E'}{R} = \left(I_2 + \frac{E'}{R}\right) \left(1 - \frac{T_2}{\tau}\right) \quad (4)$$

En remplaçant (4) dans (3)

on aura
$$I_2 + \frac{E'}{R} = \left(I_2 + \frac{E'}{R}\right) \left(1 - \frac{T_2}{\tau}\right) \left(1 - \frac{T_1}{\tau}\right) + \frac{E}{R} \frac{T_1}{\tau}$$

En négligeant $T_1 T_2 / \tau^2$ dans le produit des binômes on aura
$$\left(I_2 + \frac{E'}{R}\right) \left(-\frac{T_2}{\tau}\right) + \frac{E}{R} \frac{T_1}{\tau} = 0$$

Les expressions donnant le courant minimal et maximal sont :

$$I_2 + \frac{E'}{R} = \frac{E}{R} \frac{T_1}{\tau} \quad \text{et} \quad I_1 + \frac{E'}{R} = \frac{E}{R} \frac{T_1}{\tau} \left(1 - \frac{T_2}{\tau}\right)$$

- Remarque :

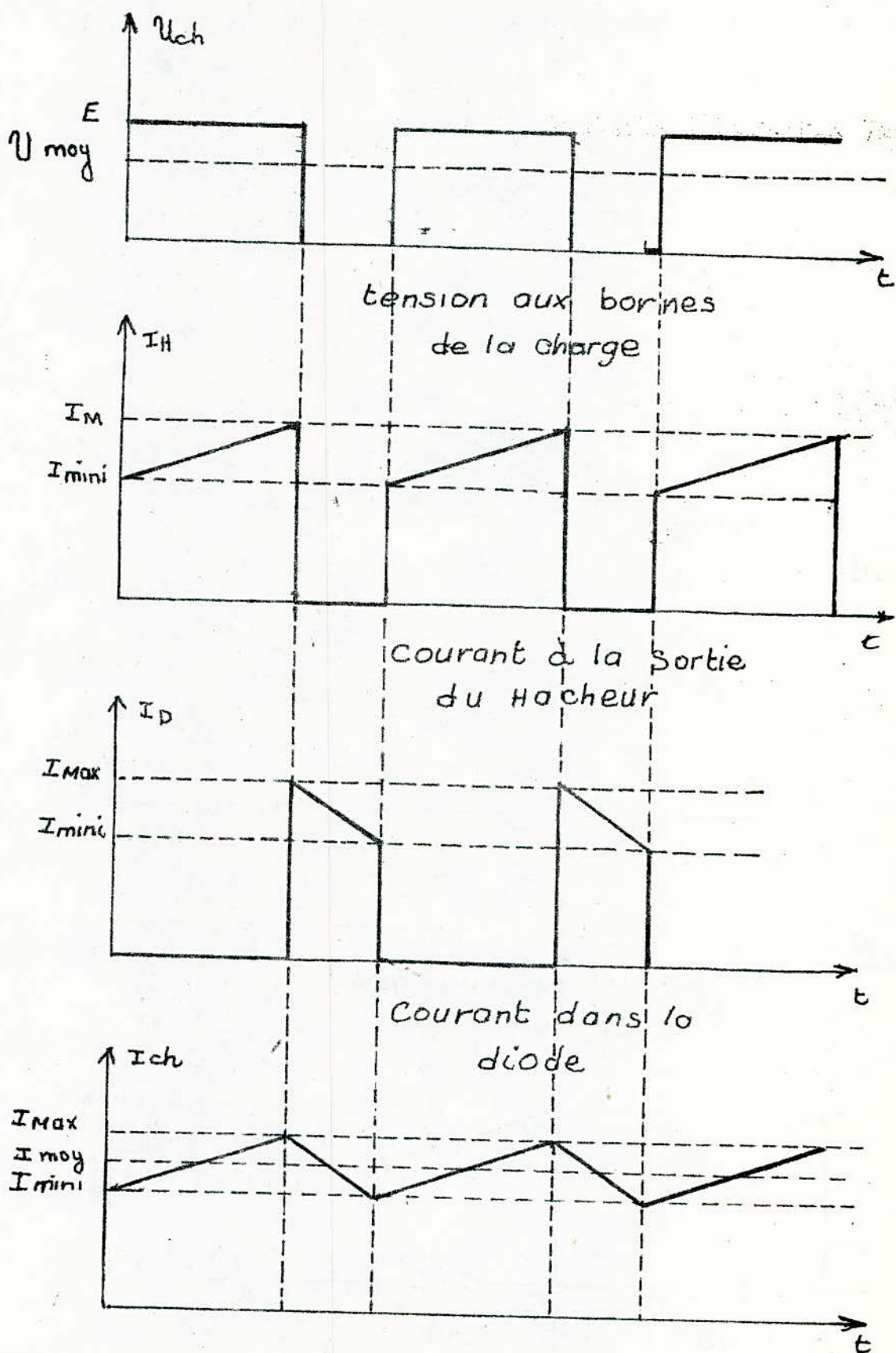
on voit bien que si $\tau = L/R$ tend vers l'infini

C'est à dire $L \gg R$, $I_1 \approx I_2$

Le courant dans la charge est sensiblement continu.

- Conclusion

Une forte inductance en série avec le moteur est indispensable afin de réduire le coefficient d'ondulation du courant.



Courant dans la charge

fig(II.7)

II.5.1 Influence de la commutation forcée sur la Tension Continue.

- la commutation forcée provoque à l'instant de déclenchement du thyristor auxiliaire (T_{H3}) une surtension de forme similaire à un triangle sur la tension instantanée U_d aux bornes de la charge.

Ceci augmente la valeur moyenne de la tension continue U_d . fig (II.8a)

Pour un fonctionnement périodique on peut décomposer l'allure de la tension U_d en deux composantes.

- U_{di} : composante idéale fig (II.8b)

- U_{dc} : composante due à la commutation forcée. fig (II.8c)

Pour chaque composante on peut déterminer une valeur moyenne.

- Pour U_{di} , correspond une tension moyenne $U_{di,m}$.

- Pour U_{dc} , correspond une tension moyenne $U_{dc,m}$ due à la commutation forcée.

La valeur finale de la tension moyenne est la somme des deux composantes.

$$U_{d,m} = U_{di,m} + U_{dc,m}$$

II.5.2 Influence de la commutation sur le courant

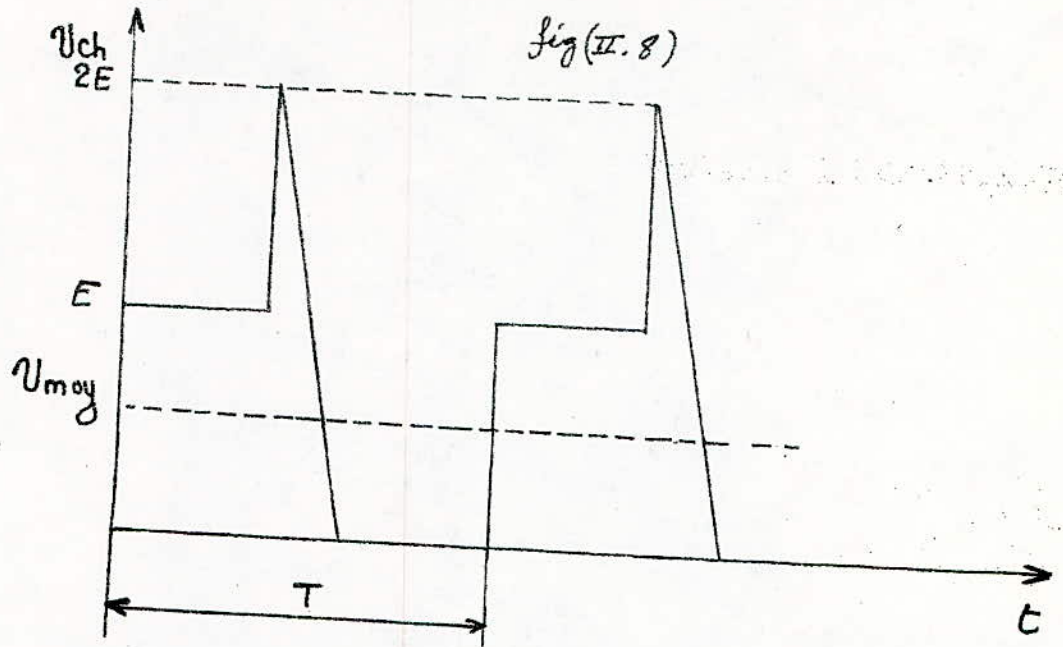
dorsque (H) conduit, en régime établi le courant dans la charge est sensiblement continu fig (II.9).

lors du blocage du thyristor principal (décharge du condensateur à travers le récepteur et lui-même, dont

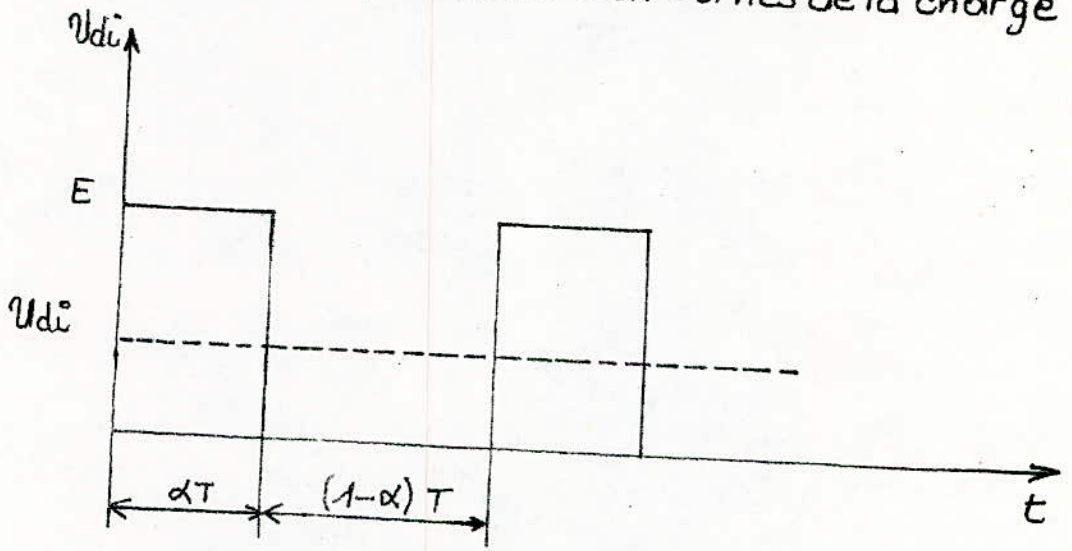
la charge initiale est proche de $-E$).

Pendant ce laps de temps le courant dans la charge passe de $\frac{E}{R}$ à $\frac{2E}{R}$, puis diminue exponentiellement avec une constante de temps $\tau = \frac{L}{R}$.

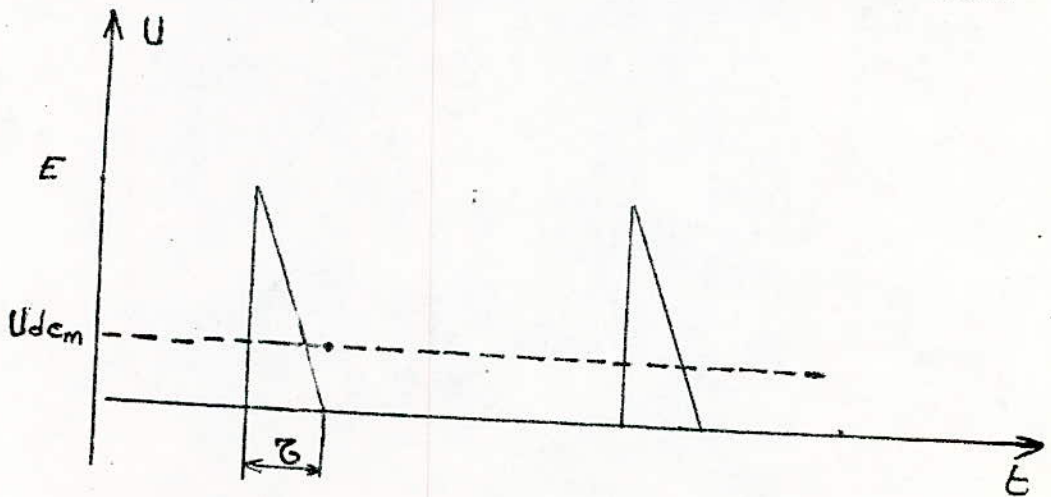
Ce courant s'annule lorsque le moteur a absorbé toute l'énergie emmagasinée dans l'inductance.



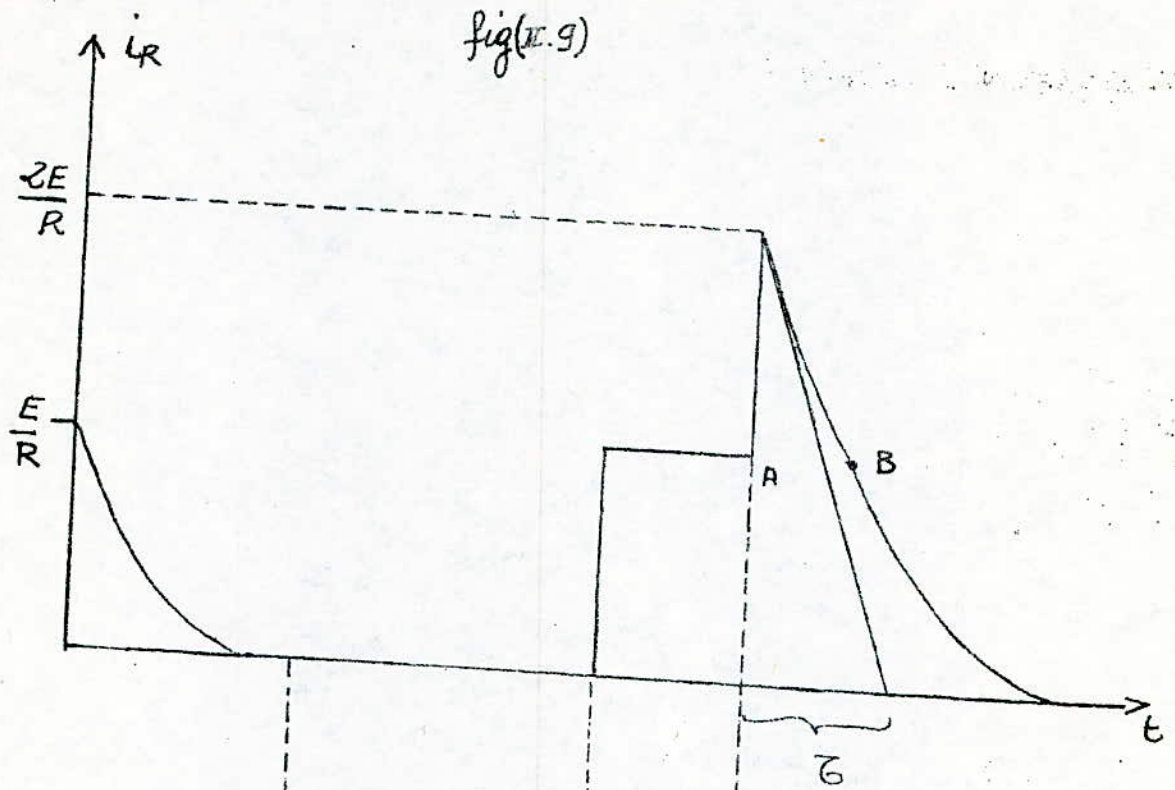
a/ tension aux bornes de la charge



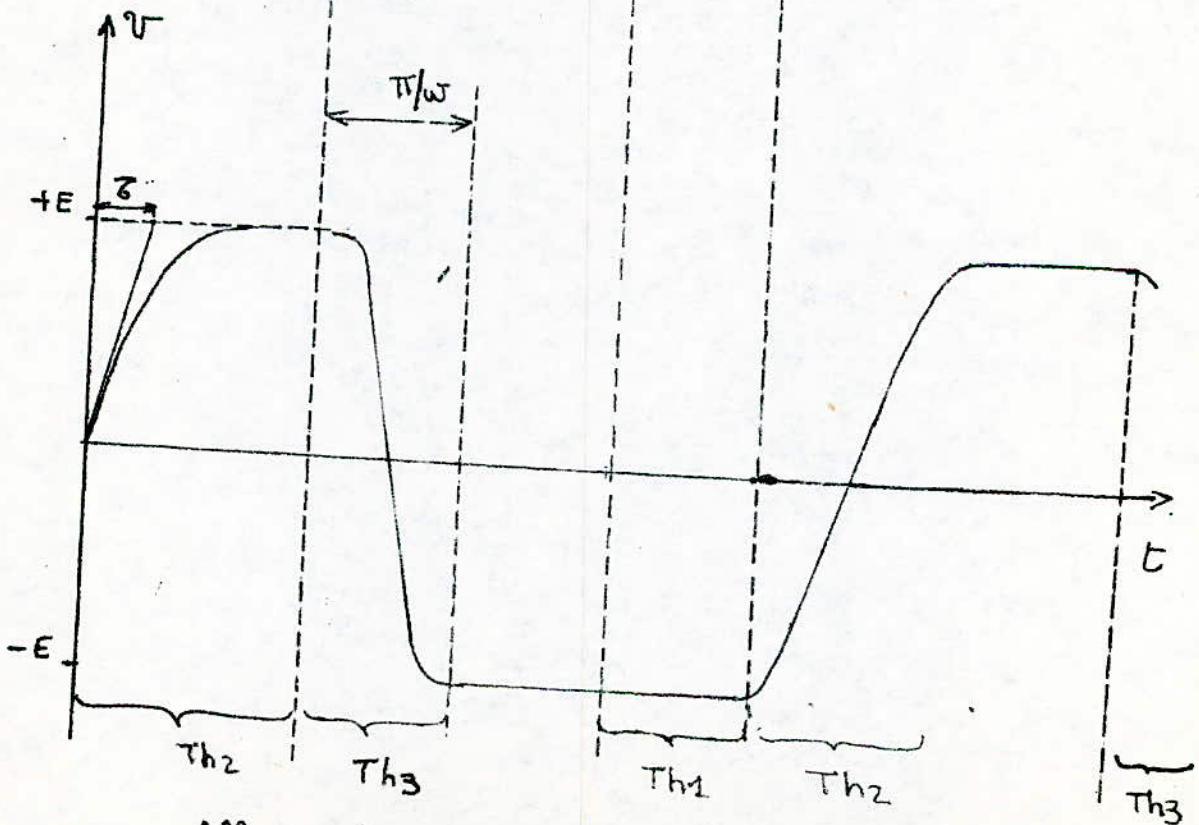
b/ Composante idéale de la tension



c/ Composante de la tension due à la Commutation forcée



Allure du courant i_{ch}



Allure de la tension aux bornes du Condensateur

II.6. Différents montages d'un Hacheur

L'extinction du thyristor principal est l'origine de la difficulté des convertisseurs statiques.

Mis à part le Hacheur à deux thyristors auxiliaires dont on avait fait l'étude, il existe trois autres montages différents à un seul thyristor auxiliaire.

Ces derniers sont réalisés de la façon la plus simple pour obtenir une commutation forcée (fig II.10.a, b etc). Mais de point de vu fonctionnement ils ont deux inconvénients par rapport au montage étudié.

- Le condensateur d'extinction se charge pendant que le thyristor principal conduit. Après avoir amorcé ce même thyristor, on ne peut le bloquer qu'après un intervalle de temps t_c (temps de charge du condensateur). Cela empêche l'obtention des très faibles valeurs de U_{moy} .
 - Le courant i_c lors de l'inversion de la polarité du condensateur passe par le thyristor principal.
- Le montage à deux thyristors auxiliaires est le plus répandu en traction électrique, moteur à courant continu, excitation série.

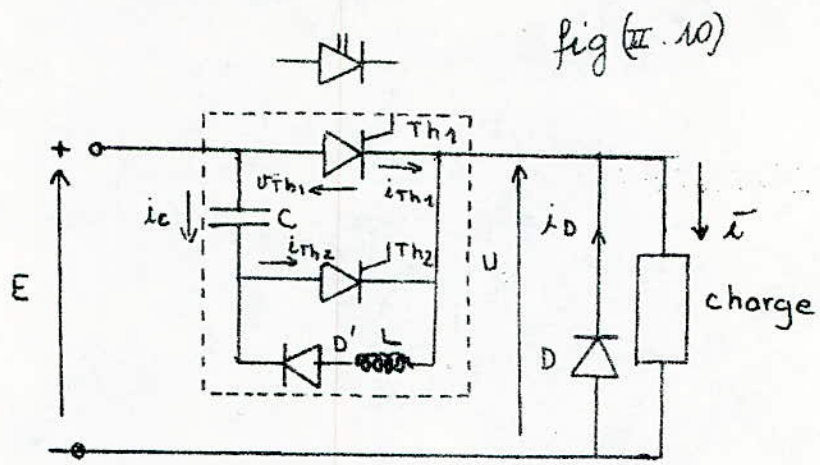


fig (II.10a)

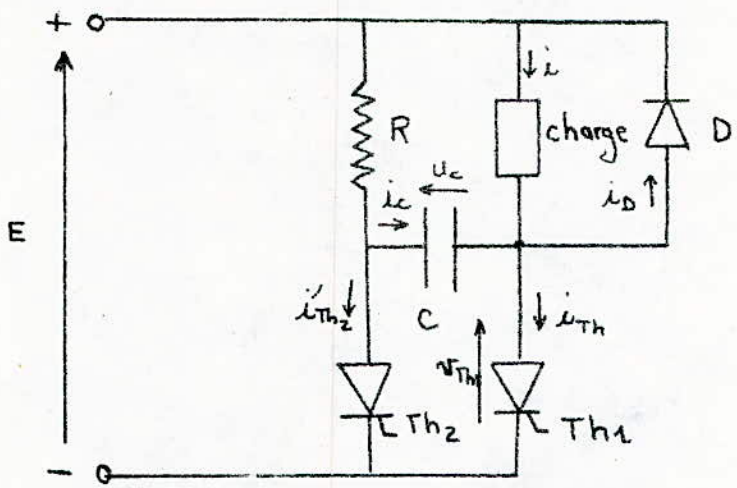


fig (II.10b)

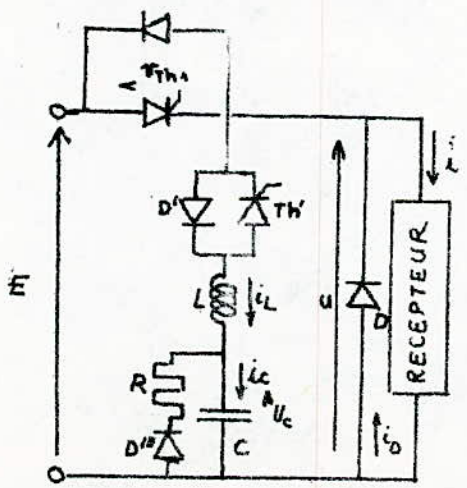


fig (II.10c)

CHAPITRE -III-

REALISATION DU CIRCUIT DE PUISSANCE

Le montage Hacheur réalisé comprend trois thyristors du type SKT 100 et une diode de roue libre type Sémikron SKN 45/12

III.1.1 Caractéristiques du thyristor SKT 100

- tension crête inverse ----- $V_{MR} = 1,2 \text{ KV}$
- Courant nominal Continu ----- $I_d = 100 \text{ A à } 85^\circ\text{C}$
- Courant de maintien ----- $I_h = 170 \text{ mA à } 25^\circ\text{C}$
- Variation de tension ----- $\frac{dV}{dt} = 1,5 \text{ KV}/\mu\text{s à } 25^\circ\text{C}$
- Surintensité à 25°C ----- $I_m = 2,5 \text{ KA}$.
- température max de la jonction --- $\theta = 130^\circ\text{C}$
- chute de tension ----- $V_f = 1,6 \text{ V à } I_d = 70 \text{ A}$
- temps d'extinction ----- $t_{off} = 150 \mu\text{s}$
- Circuit de Gâchette ----- $P_{max} = 1 \text{ W}$
- $V_g = 3 \text{ à } 5 \text{ V}$
- $I_g = 170 \text{ mA}$

III.1.2. Caractéristiques de la diode SKN 45/12

- tension inverse $V_i = 1,2 \text{ KV}$
- Courant nominal $I_{n1} = 45 \text{ A}$
- température de la jonction $\theta = 125^\circ\text{C}$
- Courant de crête max $I_{crête} = 270 \text{ A}$
- chute de tension max $\Delta U_{max} = 1,1 \text{ V}$

III.2.1. Protection des Thyristors

L'étude de la protection est déjà faite dans le cas général, mais notre dispositif est largement surdimensionné qu'il ne nécessite pas de protection contre les surintensités et les surtensions.

III.2.2 Protection contre l'échauffement.

Les semi-conducteurs sont très sensibles à la chaleur. Afin d'assurer un bon fonctionnement des thyristors, nous avons utilisé des radiateurs qui permettent l'évacuation de cette chaleur. Ces radiateurs sont faits à l'aide de tôles en aluminium de 2 mm d'épaisseur, de 100 mm de largeur et de 140 mm de longueur. Pour un meilleur refroidissement, nous avons fixé sur ces tôles des ailettes de même nature espacées de 10 mm fig (I.10).

III.3 Dimensionnement du Circuit d'extinction.

III.3.1 Dimensionnement de L'inductance d'inversion.

- l'inductance (L) dans le circuit oscillant détermine le temps de la demi-période nécessaire au changement de polarité de la tension U_c aux bornes du Condensateur d'extinction. Le temps de la demi période $t_e = \pi \sqrt{LC}$ est calculé en fonction de l'inductance et de la capacité disponibles au laboratoire.

Détermination de L.

- Alimentée sous 1,4V on relève un courant de 4,5A.

Comme la méthode de Toubert permet de relier l'impédance et l'inductance d'une bobine par la relation

$$Z = L\omega \sqrt{1 + \left(\frac{R}{L\omega}\right)^2} \approx L\omega \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}}$$

Q est d'ordre de 5

$$\text{d'où } Z = L\omega \sqrt{1 + \frac{1}{25}} = 1,02 L\omega$$

$$L = \frac{U}{1,02 I \omega} \quad \text{avec } \omega = 314 \text{ rad/s}$$

$$L = \frac{1,4}{1,02 \cdot 314 \cdot 4,5} = 0,97 \text{ mH}$$

La valeur de L déterminée ci-dessus correspond à un temps d'inversion assez faible comme désiré.

III.3.2 Dimensionnement du Condensateur d'extinction

Pour obtenir des tensions moyennes proches de E , il est nécessaire d'avoir un temps d'inversion très faible, donc une fréquence d'oscillation assez grande $f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

- Connaissant la valeur de (L) , à l'aide de la boîte de Condensateurs de capacités variables qui se trouve au laboratoire d'électrotechnique, nous avons fait plusieurs essais.

En faisant varier C dans l'ordre décroissant, et ceci afin de déterminer la valeur minimale qui puisse assurer un bon fonctionnement du montage.

La valeur de C déterminée expérimentalement, et en fonction de la self disponible est $C = 10 \mu F$.

La fréquence du circuit oscillant est alors donnée

par : $f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$L = 0,97 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$C = 10 \mu F$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{0,97 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5}}} = 1,6 \text{ kHz.}$$

III.4.1 Essais - résultats voir pages 47, à 51

III.4.1.2 Conception de La Maquette

La maquette est faite en bois de 61 cm de longueur, 52 cm de largeur et de 22 cm de hauteur fig (III.1)

III.4.2. Réglage des impulsions

Pour avoir le Aynchronisme du système d'impulsions, on a placé un interrupteur dans le circuit de la gâchette G₁. Cet interrupteur ouvert au départ, éteint l'allumage du Thyristor principal.

Les trois impulsions sont positionnées comme l'indique la fig (II.2).

αT : temps de conduction

t_e = temps d'inversion de la tension aux bornes du condensateur.

t_e doit être supérieur ou égal à t_c .

$$t_e = \pi \sqrt{LC} = 3,14 \sqrt{0,97 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5}} = 0,30 \text{ ms.}$$

T = période de la rampe ($T = 8 \text{ ms}$)

fig (III.1) Schéma de câblage

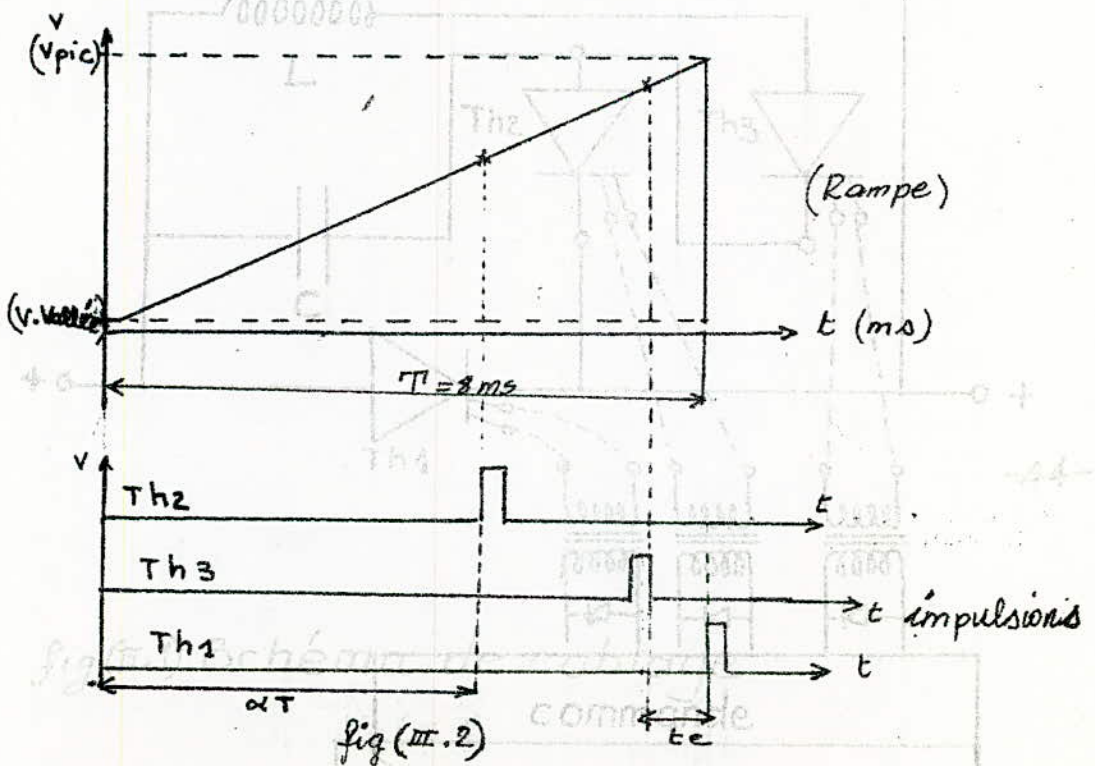
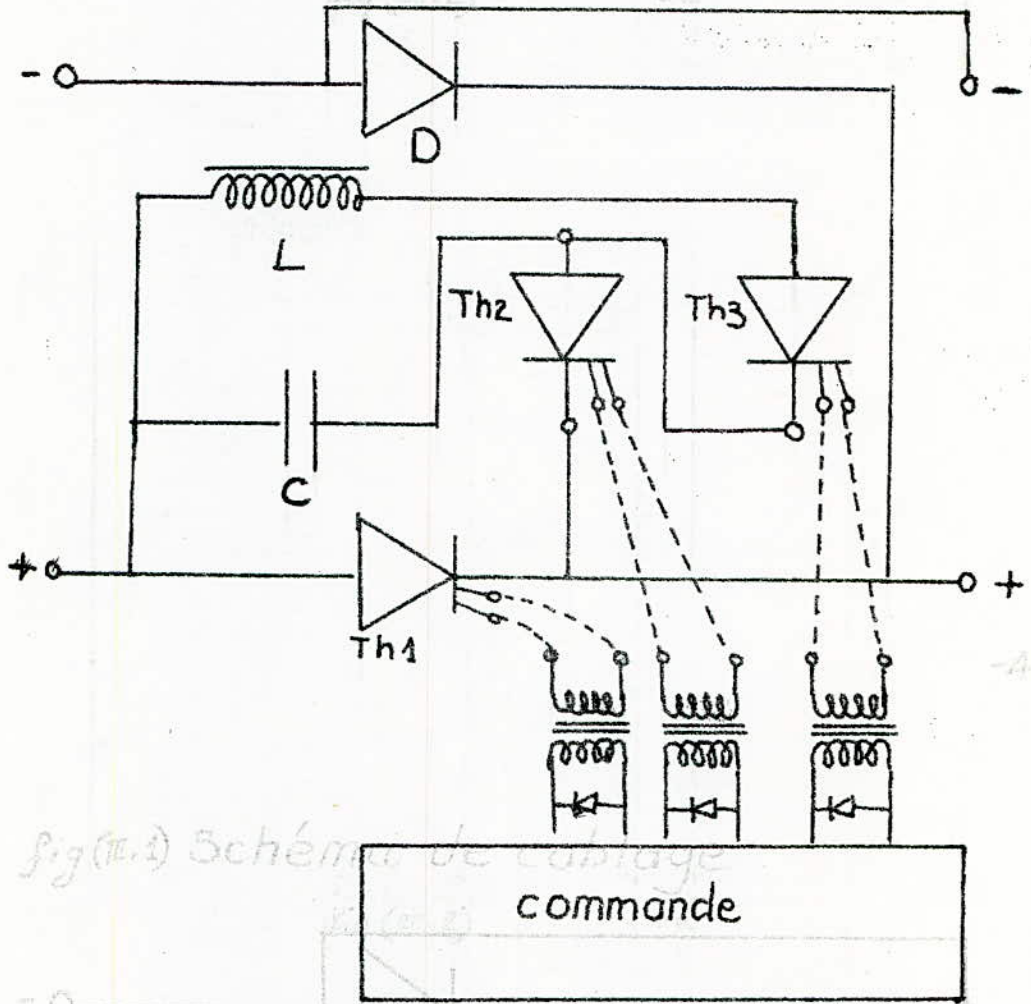


fig (III.2)

III 5.1 Résultats expérimentaux

III 5.2 Alimentation d'une résistance pure fig (III.3)

- tension d'alimentation Constante $E = 110V$
- temps de Conduction $t_c = 4,42 ms$
- temps d'ouverture $t_o = 2,98 ms$
- Constante de temps $\tau = 0,58 ms$
- tension moyenne $U_{moy} = 54 V$
- Courant moyen $I_{moy} = 2,4 A$
- Surtension $U' = 84 V$

III 5.3 - Alimentation d'une charge passive de constantes R et L

- tension d'alimentation Constante $E = 110V$ fig (III.4)
- temps de Conduction $t_c = 4,66 ms$
- temps d'ouverture $t_o = 3,02 ms$
- Constante de temps $\tau = 0,32 ms$
- tension moyenne $U_{moy} = 66 V$
- Courant moyen $I_{moy} = 8,1 A$
- Surtension $U' = 216 V$

III 5.4 - Alimentation d'une charge active (moteur) fig (III.5)

- tension d'alimentation Constante $E = 110V$
- temps de Conduction $t_c = 4,88 ms$
- temps d'ouverture $t_o = 2,48 ms$
- Constante de temps $\tau = 0,66 ms$
- tension moyenne $U_{moy} = 73 V$
- Courant moyen $I_{moy} = 3,9 A$
- Surtension $U' = 136 V$

III.6. Interprétation

dans le cas d'une charge résistive fig (III.3), le fonctionnement est discontinu. En vertu de la loi d'ohm $U=RI$, le graphe donnant le courant est le même que celui de la tension à une constante près.

$$U_{\text{moy}} = \frac{\theta}{T} E = \alpha E \quad 0 < \alpha < 1$$

$$I_{\text{moy}} = \frac{U_{\text{moy}}}{R} = \frac{\alpha E}{R}$$

On remarque aussi que U_{moy} (calculée) est supérieure à U_{moy} (mesurée). $U_{\text{moy}}(\text{cal}) = \frac{\theta}{T} E = \frac{4,12 \times 110}{8} = 60,77 \text{ V}$; $U_{\text{moy}}(\text{mes}) = 54 \text{ V}$
D'après la courbe pratique, la tension prend la forme d'une exponentielle avant d'atteindre la valeur E .

Alos que théoriquement on considère que la tension est constante et égale à E pendant tout l'intervalle de conduction (conduction parfaite)

Par contre pour la charge R.L, la tension moyenne mesurée est sensiblement égale à celle prévue théoriquement.

$$U_{\text{moy}}(\text{mesurée}) = 66 \text{ V} \quad , \quad U_{\text{moy}}(\text{cal}) = \frac{4,66}{8} \times 110 = 64,07 \text{ V}$$

La seule différence se situe au niveau de la commutation.

théoriquement on prévoit une surtension de E , mais pratiquement elle passe à $\frac{3}{4}E$ fig (III.4).

dans le cas d'une charge R.L en présence d'une f.c.e.m E , la surtension a diminué par rapport au cas précédent (R.L)

Elle passe de 216 V (R.L) à 136 V (R.L. E') fig (III.5).

U_{moy} (mesurée) est légèrement inférieure à celle calculée

$$U_{\text{moy}}(\text{mes}) = 73 \text{ V} \quad , \quad U_{\text{moy}}(\text{cal}) = \frac{\theta}{T} E = \frac{4,88}{8} \times 110 = 67,1 \text{ V}$$

d'allure du courant est la même que celle prévue théoriquement.

Charge Résistive (R)

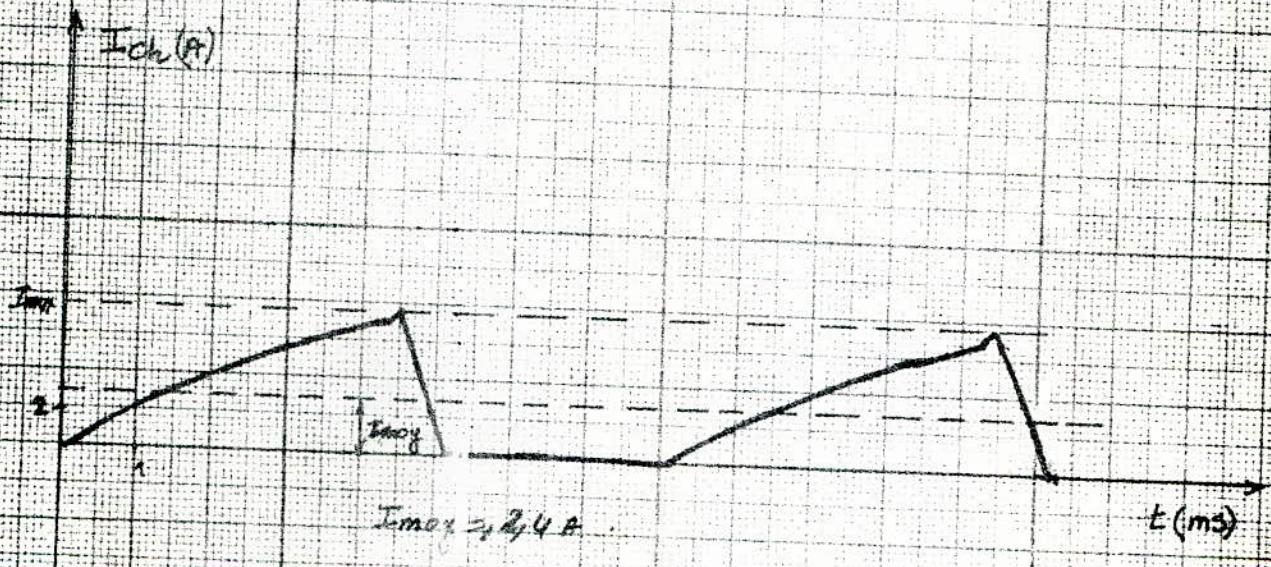
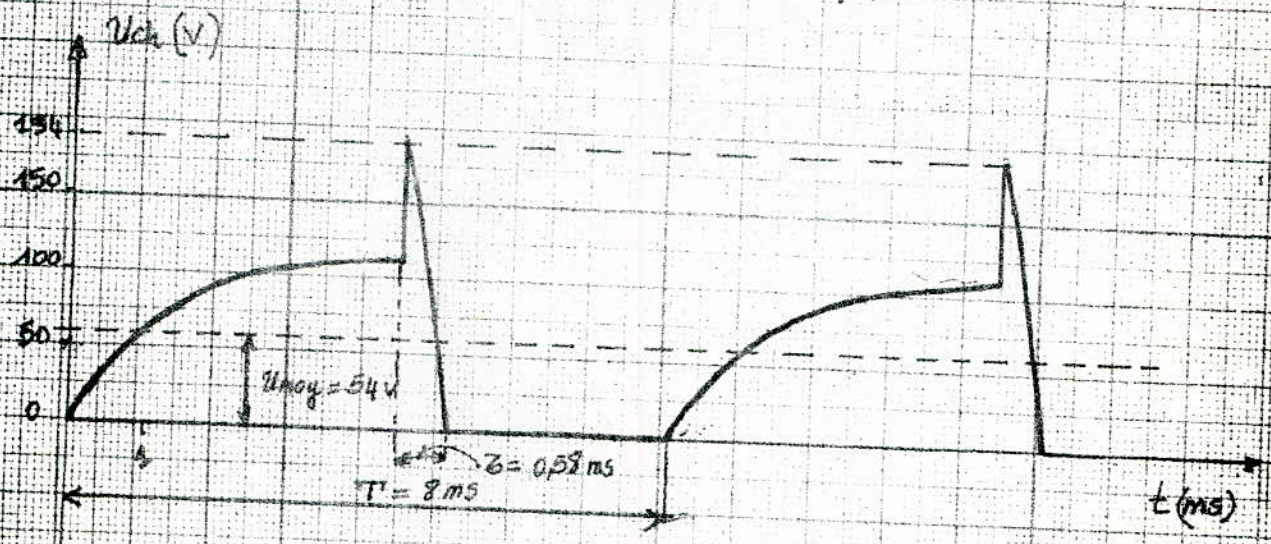


fig. (III.3)

Charge passive de Constantes
R et L

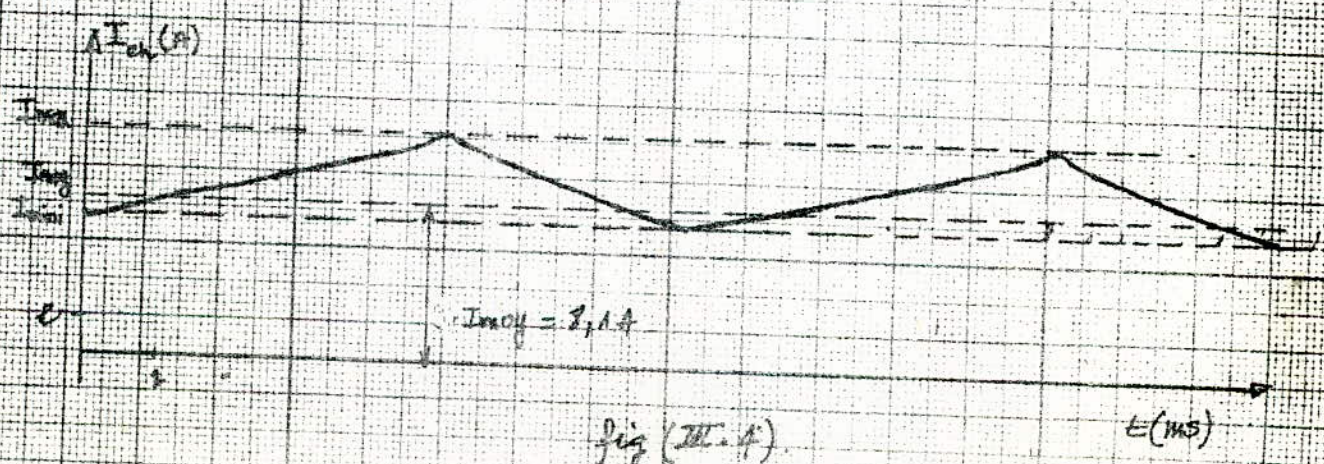
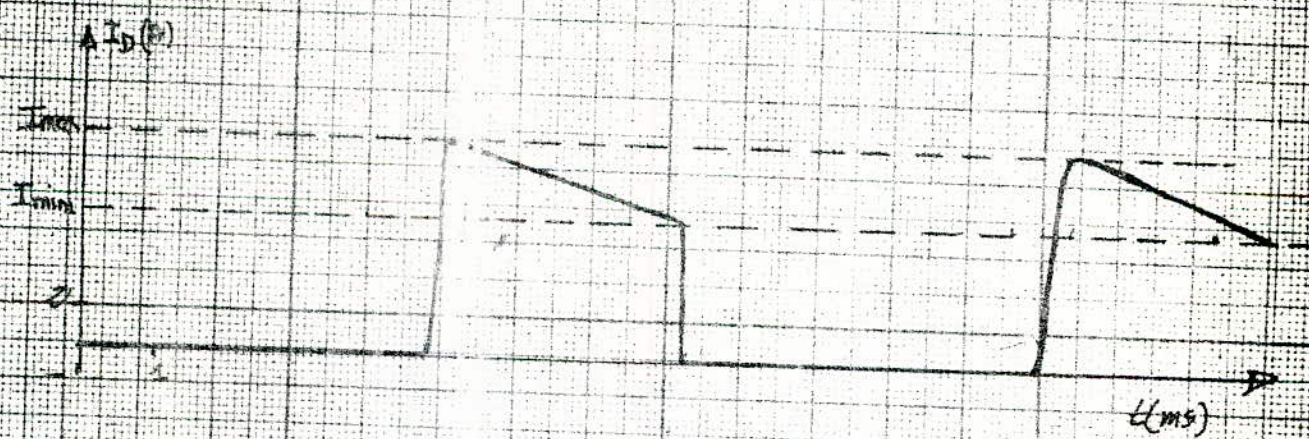
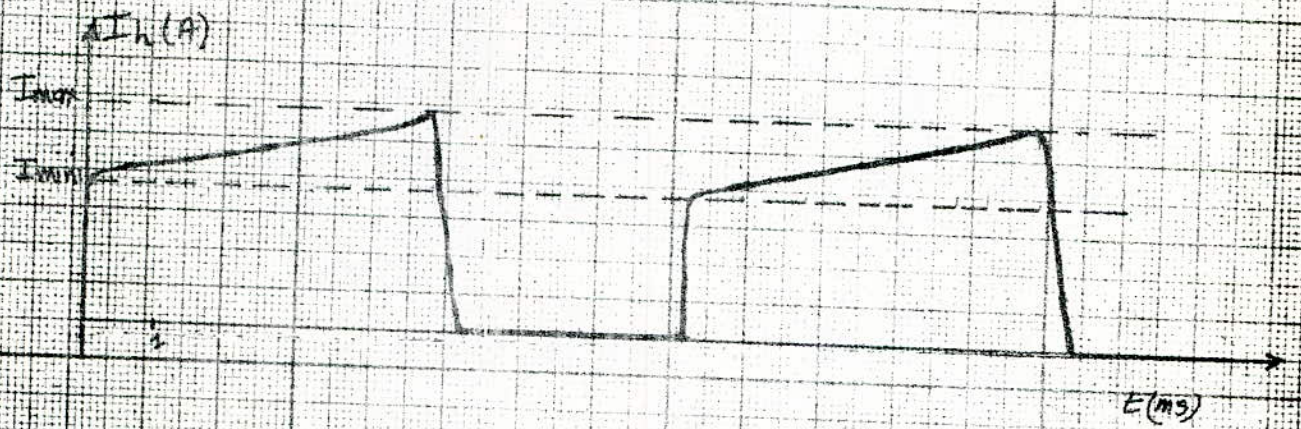
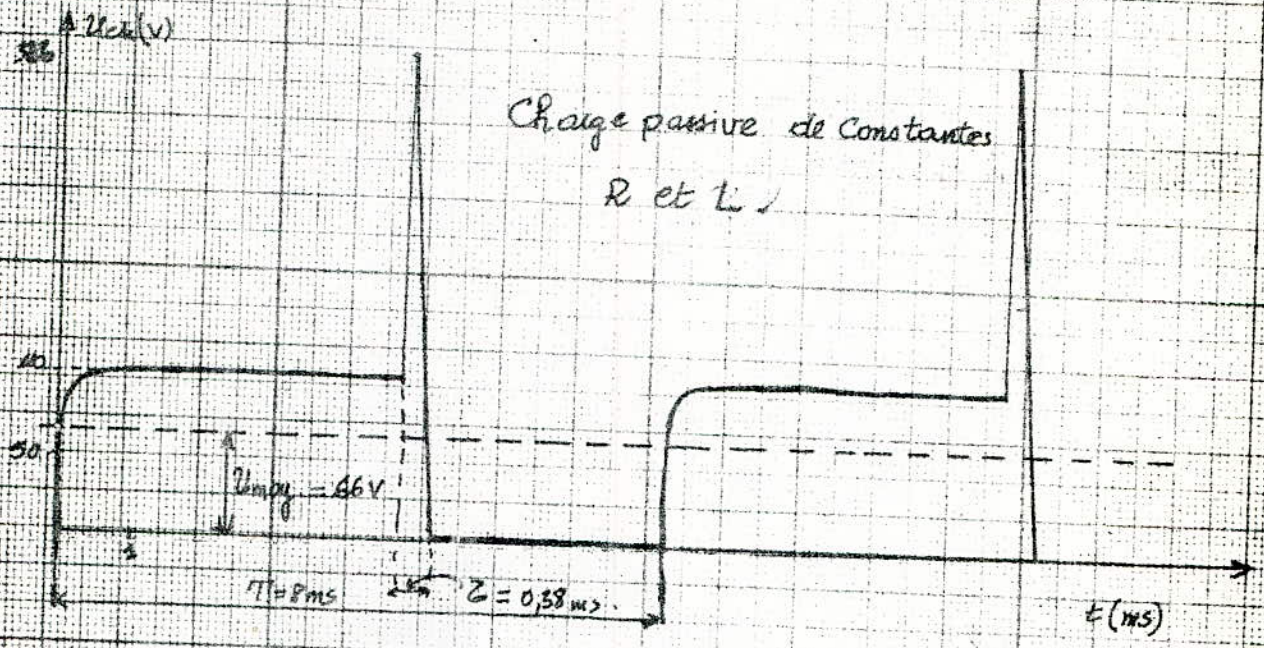


fig (III.4)

Charge active de f.c.e.m E' (moteur)

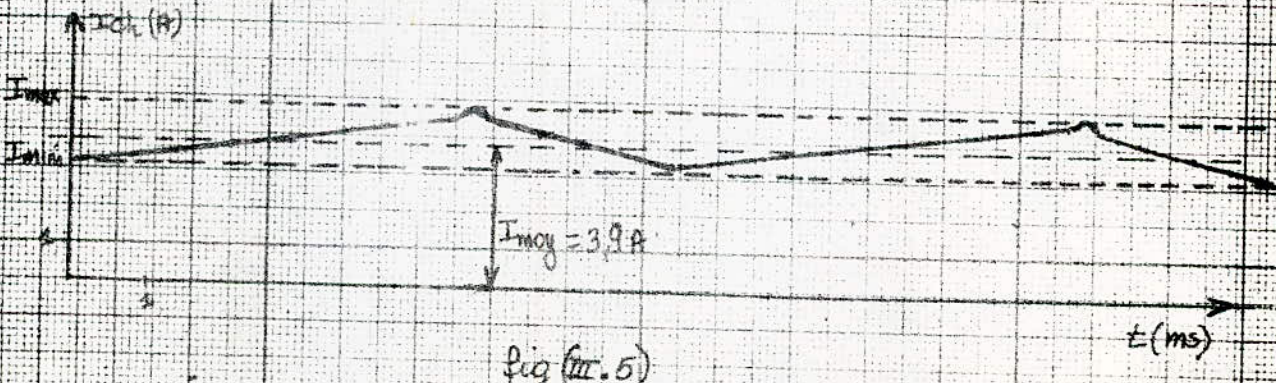
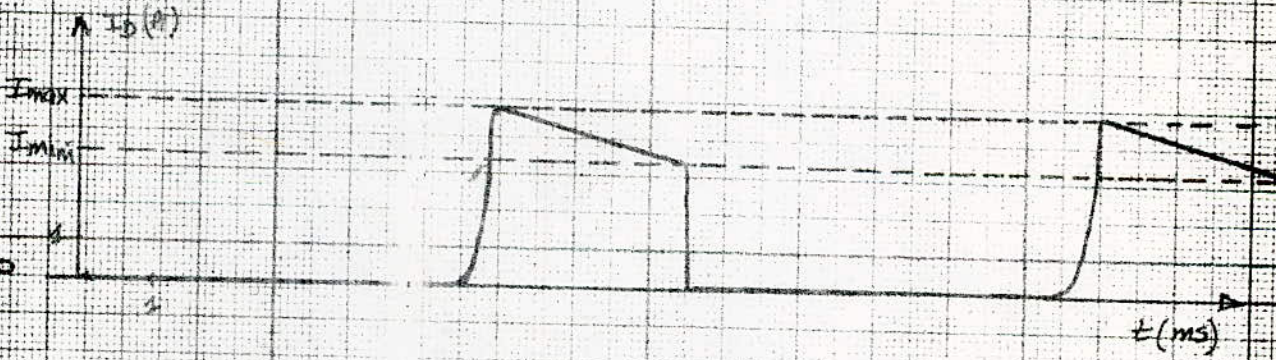
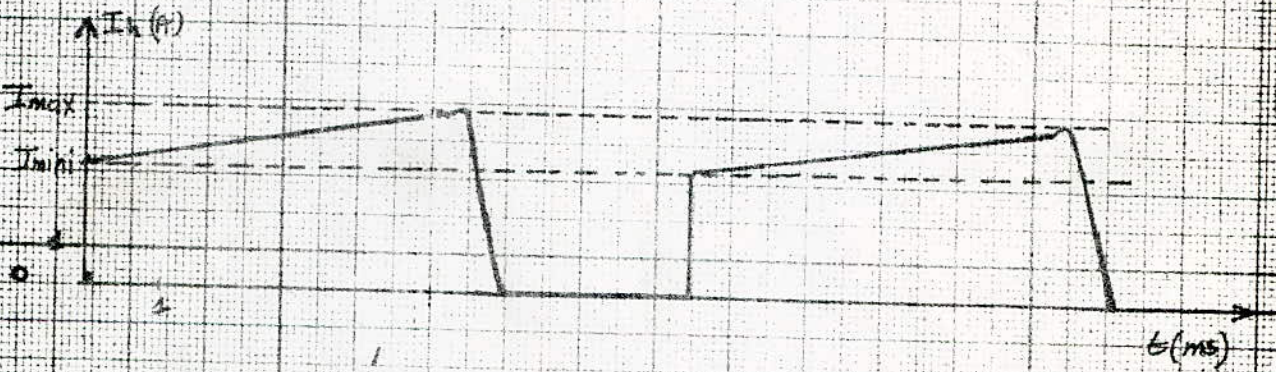
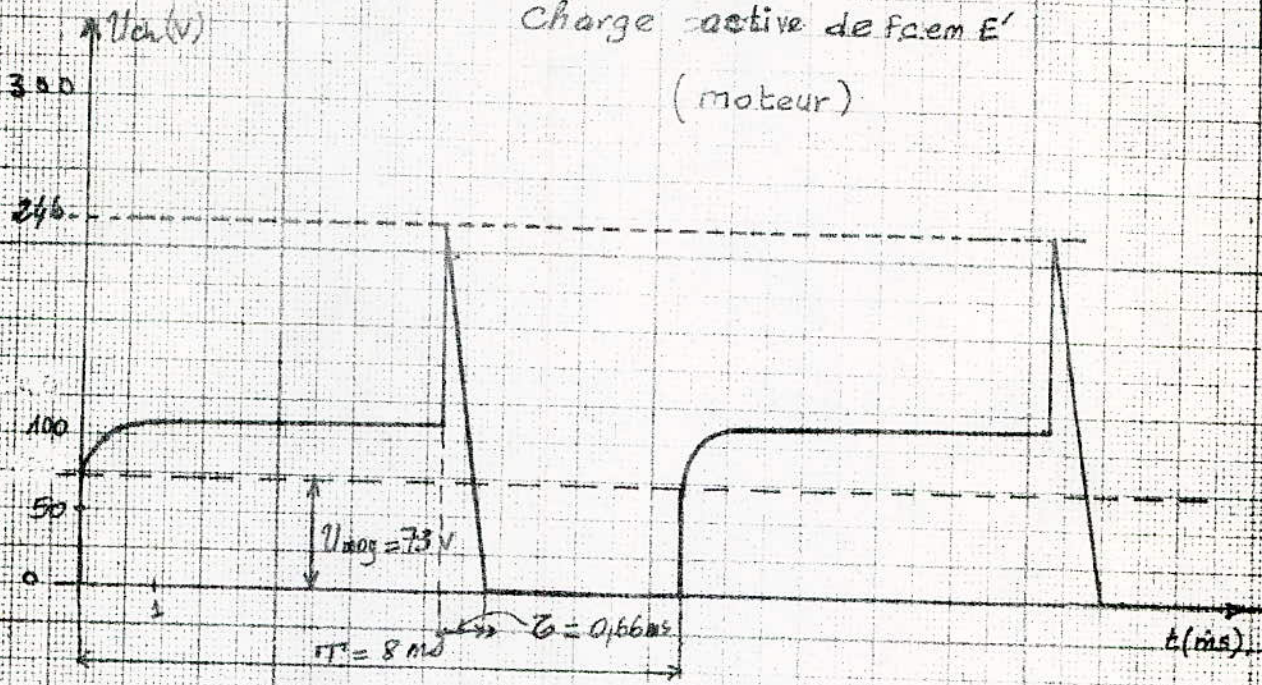


fig (nr. 5)

Charge et décharge de la Capacité
inversion de polarité.

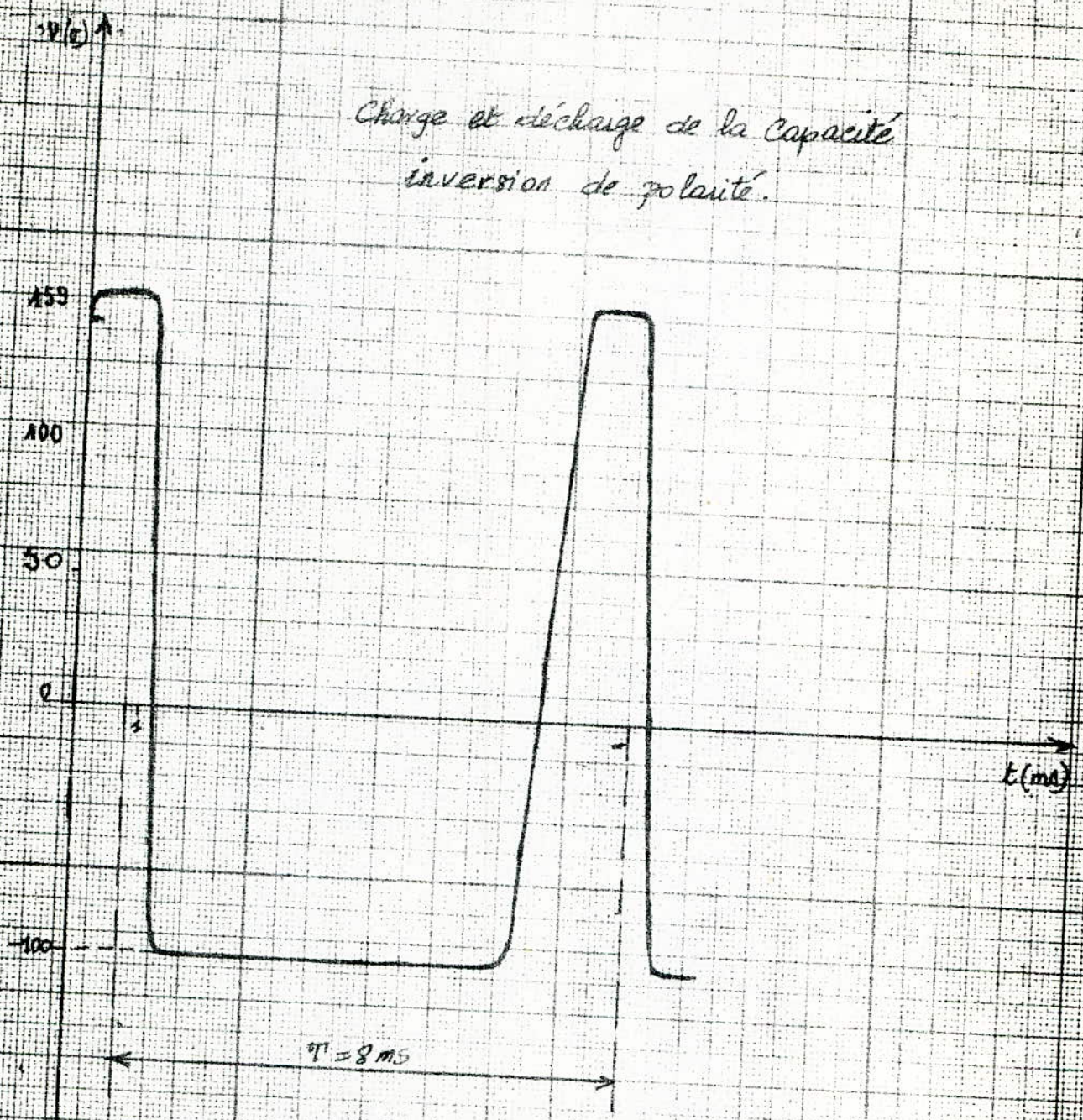


fig (III.6)

CHAPITRE -IV-

COMMANDE ELECTRONIQUE

IV.1. Choix de La Commande. (voir Schéma synoptique)

Nous avons choisi ce type de commande selon le principe de fonctionnement du Hacheur.

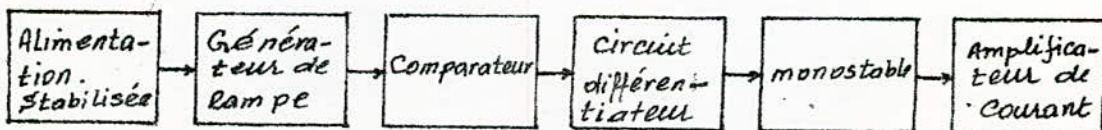
Ce dernier est composé essentiellement de trois thyristors, commandés par des impulsions positives séquentielles, d'où l'idée d'utiliser un générateur de rampe pour leur synchronisation.

Le principe de fonctionnement du Hacheur est expliqué dans la partie puissance.

IV - 2 Circuit de Commande.

Le circuit de commande de chaque thyristor est composé de six parties.

- Une alimentation stabilisée
- Un générateur de rampe
- Un amplificateur opérationnel ($\mu A741$) monté en comparateur
- Un circuit différentiateur.
- Un amplificateur opérationnel ($\mu A741$) monté en monostable.
- Un amplificateur de courant.



Description sommaire de la commande suivant le schéma synoptique ci-dessus pour chaque thyristor.

IV 2.1.4 Alimentation stabilisée.

Pour obtenir les signaux représentés sur la fig(II.6) (Schéma synoptique) il faut disposer deux alimentations stabilisées, dont l'une assure l'alimentation du générateur de rampe, l'autre l'alimentation des amplificateurs opérationnels.

- Comme on peut le constater un transformateur fig(II.1) alimenté en 120V (v) délivre une tension alternative de 16V qui est redressée à l'aide d'un pont redresseur. La tension unidirectionnelle $v = \frac{2V_{max}}{\pi}$ est ensuite filtrée par une capacité de filtrage (C).

Après le pont redresseur, montée une inductance d'entrée (inductance de lissage) qui permet d'atténuer la l'ondulation du courant.

Une autre disposition permet d'obtenir deux tensions symétriques par rapport à la masse (+15, 0, -15).

Ce schéma est particulièrement bien adapté à l'alimentation des amplificateurs opérationnels fig(II.2)

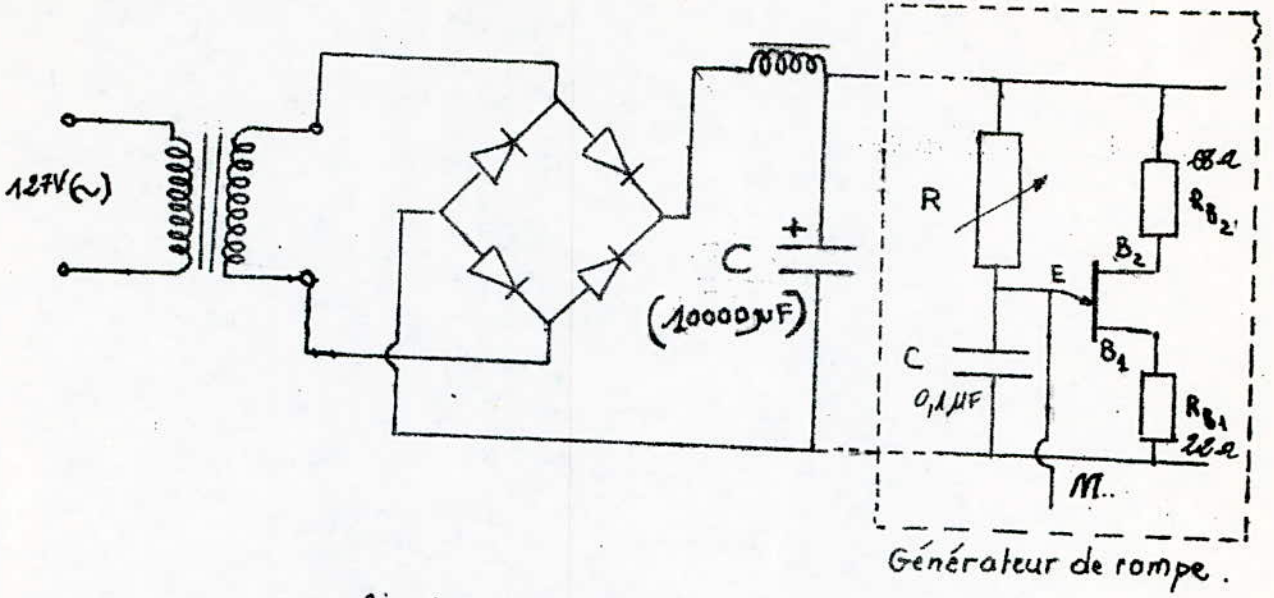


fig (II.1)

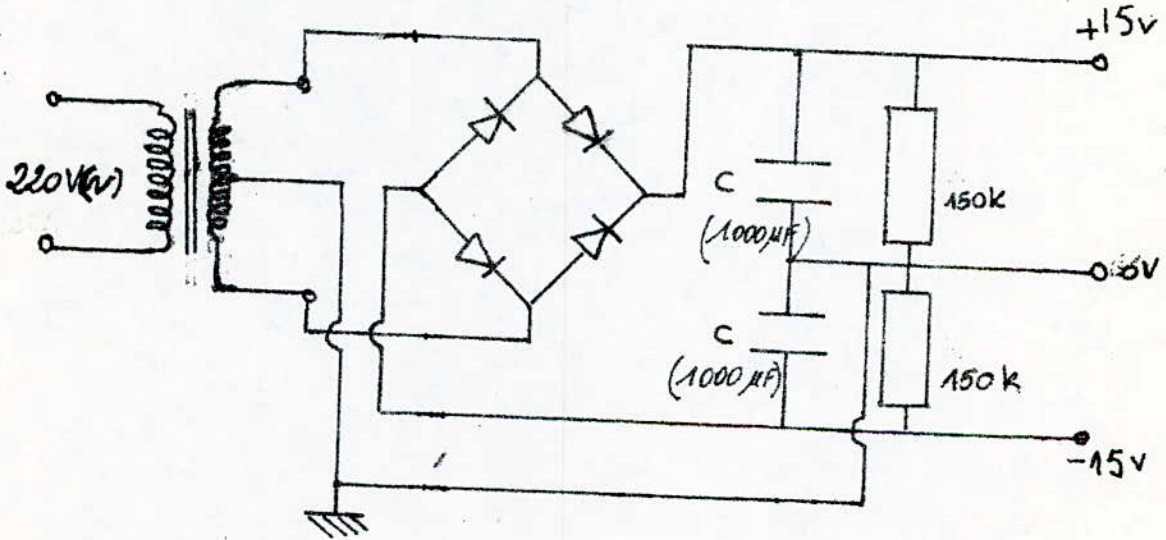


fig (II.2)

IV.2.2. Générateur de Rampe.

La rampe est une forme triangulaire particulière appelée aussi onde en dent de scie fig (II.5).

Ce genre de sortie met à profit la forme de la charge et celle de la décharge très rapide d'un condensateur.

La charge s'effectue par une résistance en série et la décharge est produite par la saturation d'un transistor unijonction (UJT).

a) Présentation de l'UJT.

Le transistor unijonction est constitué essentiellement d'un barreau de Type N dont les extrémités portent deux contacts appelés bases (B_1, B_2). Une troisième électrode type P est soudée en un point M du barreau principal N, une jonction PN au niveau de l'émetteur fig (II.3)

b) Caractéristique statique de l'UJT

Le barreau principal peut-être assimilé à une résistance équivalente $R_{BB} = R_{B_1} + R_{B_2}$ fig (II.3). La diode reste bloquée tant que la tension V_E est inférieure au seuil V_p dit tension de pic, définie par la relation

$$V_p = \eta V_{BB} + V_D.$$

V_D = tension aux bornes de la diode

V_{BB} = tension d'alimentation

η = Rapport intrinsèque. $\eta = \frac{R_{B_1}}{R_{B_1} + R_{B_2}}$

dés que la tension d'entrée atteint un seuil égal à V_p , il s'établit un phénomène d'avalanche qui aura pour effet de faire tendre la résistance R_{BB} vers une valeur entraînant une diminution de potentiel V_E jusqu'à une valeur minimale ($V_{vallée}$) fig (II.A.)

c) Caractéristiques Relevées (UJT type 2N3890)

Type 2N3890	V_{B_2, B_1} (V)	V_{max}	$V_{B_1, E}$ (V)	V_{max}	$R_{BB_{mini}}$ (Ω)	$R_{BB_{max}}$ (Ω)	η_{mini}	η_{max}
	30		30		4	8	0,68	0,82

d) Circuit d'application

Pour obtenir des rampes nous avons utilisé le circuit illustré à la fig (II.A). Ce circuit est alimenté par le secondaire d'un transformateur dont la valeur de la tension est $V_{BB} = 20V$.

Le condensateur (C) se charge à travers R, et la tension émetteur base B_1 de l'UJT croît exponentiellement jusqu'à la valeur (V_p). A la valeur V_{pic} le courant émetteur I_E augmente brusquement, entraîne la décharge du condensateur dans le circuit (E- B_1).

Dés que cette phase est terminée le courant I_E diminue, car il ne peut-être maintenu ni par le condensateur (la tension à ses bornes est égale à la tension vallée) ni par l'alimentation (R est très grande).

Une autre charge s'amorce et les mêmes transformations se

reproduisent, le système constitue un oscillateur de relaxation dont la période T dépend de R , C , V_p , et E (Pratiquement R et C).

- Période d'oscillation T .

A l'instant $t=0$, le condensateur (C) se charge à partir de $v_c=0$, Après tout calcul l'équation de charge est $v_c = E(1 - e^{-t/RC})$.

La période T s'achève lorsque $v_c = V_p$

$$E(1 - e^{-T/RC}) = V_p \quad e^{-T/RC} = \frac{E - V_p}{E}$$

$$\text{d'où } T = RC \ln \frac{1}{1 - \frac{V_p}{E}}$$

$$T = RC \ln \frac{1}{1 - \eta} \quad \text{avec } \eta = \frac{V_p}{E}$$

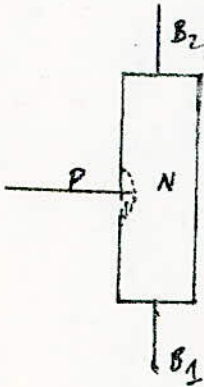
$0,68 \leq \eta \leq 0,82$ pour UJT Type 2N3890

- Calcul de R .

$$C = 0,1 \mu\text{F}, \quad T = 8 \text{ ms}$$

En prenant la valeur moyenne de $\eta = 0,75$ on trouve

$$R = 57,7 \text{ k}\Omega$$



Présentation
d'un UJT

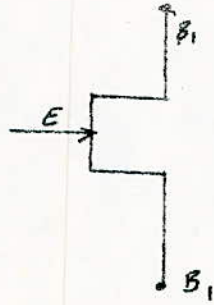


Schéma
Symbolique
d'un UJT

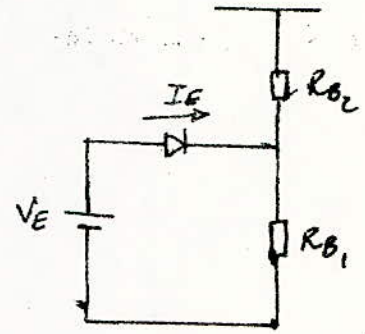


Schéma équivalent
de la polarisation
d'un UJT.

fig (IV.3)

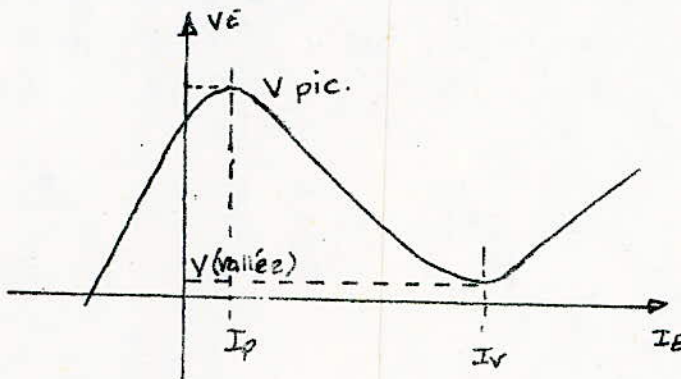


fig (IV.4) : Caractéristique statique
d'un UJT.

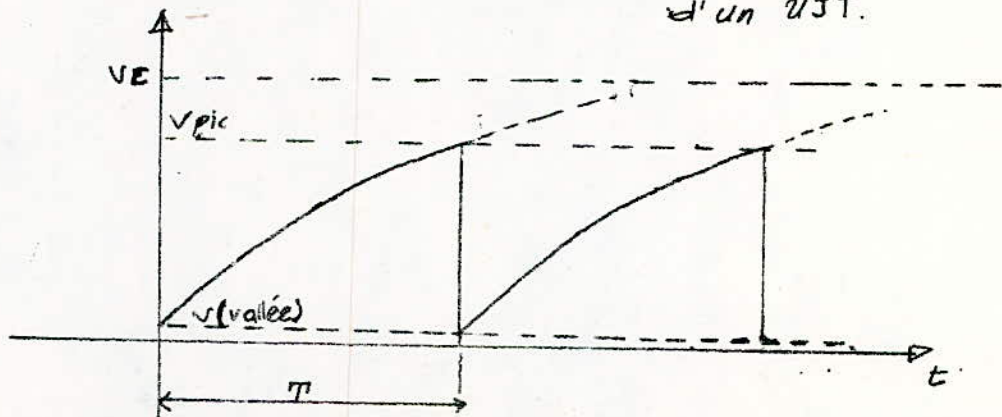


fig (IV.5)

IV.2.3 Le Comparateur fig(III.6).

a) Définition

Un comparateur est un élément analogique dont le rôle est d'indiquer si la tension appliquée sur l'une des entrées est supérieure ou inférieure à la tension appliquée à l'autre entrée.

Exemple: Si on applique une tension V_1 à l'une des entrées du comparateur fig(III.5) et V_2 à l'autre entrée, et on desire comparer V_2 par rapport à V_1 , on aura à la sortie deux cas possibles:

$$V_1 > V_2 \Rightarrow S = 1$$

$$V_1 < V_2 \Rightarrow S = 0$$

Le cas où $V_1 = V_2$ est assimilé au cas d'infériorité.

b) Fonctionnement

Le dispositif fig(III.5) est constitué d'une résistance R_1 qui limite le courant à l'entrée du $\mu A 741$, et un circuit différentiel à la sortie.

Il fonctionne comme un comparateur de différence, il utilise une tension fixe e_1 (ou tension de référence) qu'on applique à l'entrée positive, et une tension de commande (rampe) qu'on applique à l'entrée négative.

Dès que la rampe dépasse la tension de référence (e_1) la sortie atteint la saturation dans le sens négatif, tandis que si la tension de commande est inférieure à (e_1), la sortie atteint la saturation positive.

On recueille des impulsions de forme rectangulaire fig(III.7). Le différentiateur (circuit R.C) relié à la sortie du Comparateur nous permet d'obtenir des impulsions positives et négatives.

IV.2.4. Le Multivibrateur Monostable.

Ce type de multivibrateur ne possède qu'un seul état stable, il peut changer d'état d'une façon temporaire sous l'action d'un signal de déclenchement.

Le montage utilisé fig (II.6), comporte un amplificateur opérationnel dont la sortie est à un niveau stable. Le diviseur de tension constitué de résistances R_1 et R_2 maintient l'entrée inverseuse à un niveau positif. La sortie étant en saturation négative.

L'impulsion négative appliquée au point A fig (II.6) fait basculer la sortie de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$.

Le condensateur de la boucle de réaction se charge à travers R_3 jusqu'à ce que l'entrée (+) devienne plus grande que l'entrée (-), d'où basculement et retour à l'état stable. On recueille finalement des impulsions modulées en durée fig (II.7) (visualisées).

Période du monostable.

L'impulsion appliquée à l'entrée du monostable fait passer la sortie à $+V_{sat}$, le condensateur se charge à travers R_3 selon l'équation $v_c + R_3 i = +V_S$.

$$\text{pour } t=0 \quad u_c = 0$$

$$u_c = -V_S \left(e^{-t/\tau} - 1 \right) = V_S \left(1 - e^{-t/\tau} \right) \quad \text{avec } \tau = R_3 C$$

$$v_R = -\eta V_{CC} = R_3 i = R_3 C \frac{du_c}{dt} \quad \text{d'où } \eta V_{CC} = V_S e^{-t/\tau}$$

$$t = -R_3 C \ln \frac{\eta V_{CC}}{V_S} \quad T = R_3 C \ln \frac{V_S}{\eta V_{CC}}$$

E.2.5. Amplificateur de Courant

Pour réaliser un amplificateur de courant capable d'amorcer les thyristors, on utilise le montage suivant fig (II.8), placé à la sortie du Multivibrateur monostable. Les transistors type NPN EN2219 travaillent en commutation.

a) Fonctionnement

Au départ T_1 est conducteur car le courant de base I_{B1} est suffisant pour le saturer.

A l'aide d'une impulsion négative appliquée à la base B_1 les intensités des courants I_{B1} et I_{C1} diminuent, tandis que la tension V_{C1E1} croît, T_1 se bloque.

Cela entraîne la naissance de courants de base et de collecteur I_{B2} et I_{C2} dans T_2 , et la diminution du potentiel V_{C2E2} de C_2 . Le transistor T_2 passe à son état saturé.

Dès que l'impulsion disparaît le courant de base I_{B1} de T_1 redevient de nouveau suffisant pour la saturation de ce même transistor.

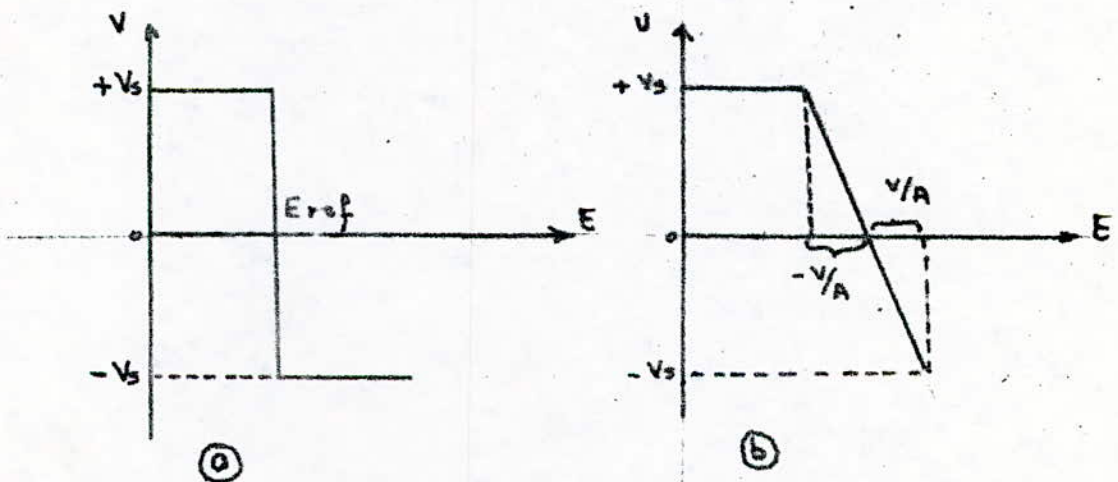
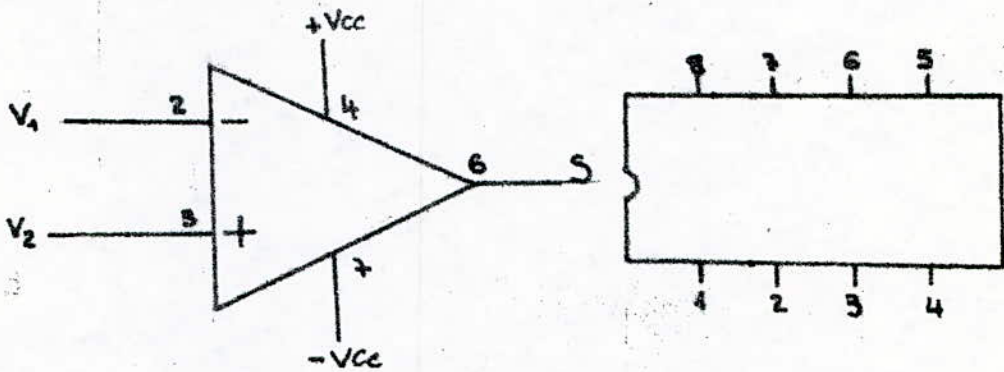
Le montage revient de lui-même à son état initial et le cycle recommence à chaque impulsion.

Caracteristiques du transistor type 2N.2219

Type	V_{CEM} (V)	I_{CEM} (mA)	T_{JM} ($^{\circ}C$)	Observations
2N.2219	30e	500	175	$V_{CE} = 35V, 1.9mA$ $V_{CEM} = 60V$

Symbole et circuit de brochage de l'amplificateur operationnel

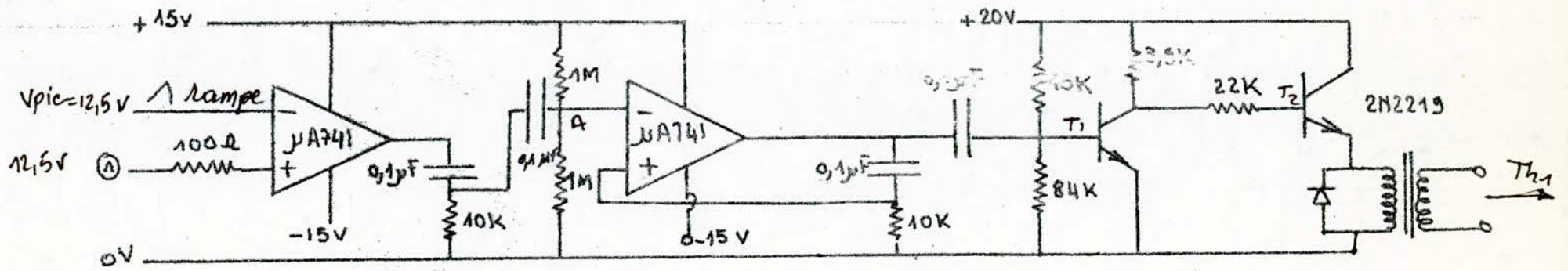
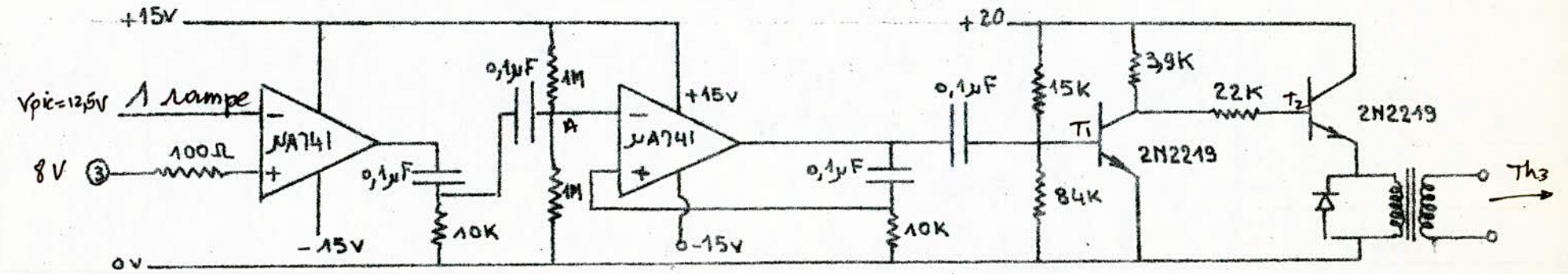
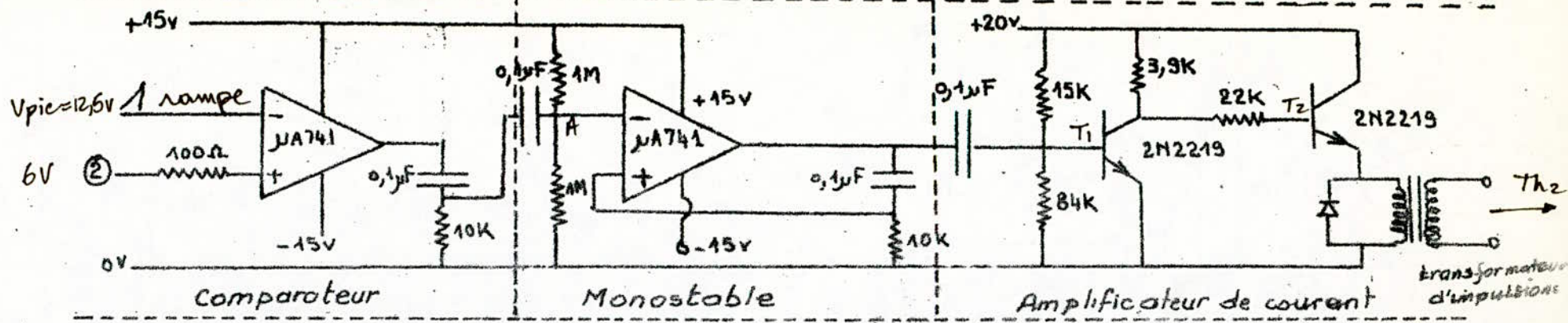
type $\mu A741$ fig (II.8)



Caracteristiques de transfert

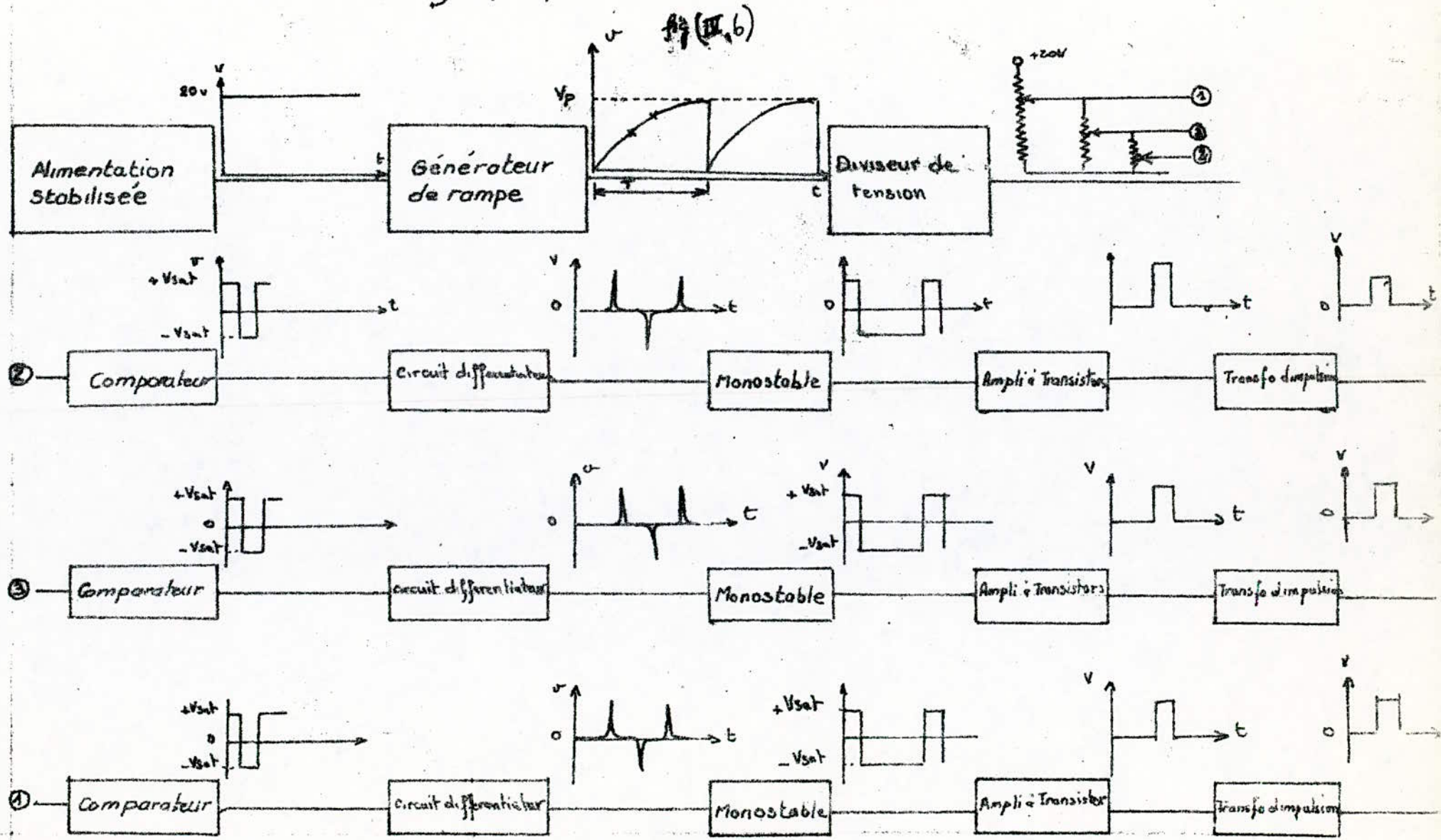
obtenues { (a) Gain infini (b) Gain n'est pas infini }

A: Gain



Fig(5) Circuit de Commande du Hauteur

schéma synoptique de la commande



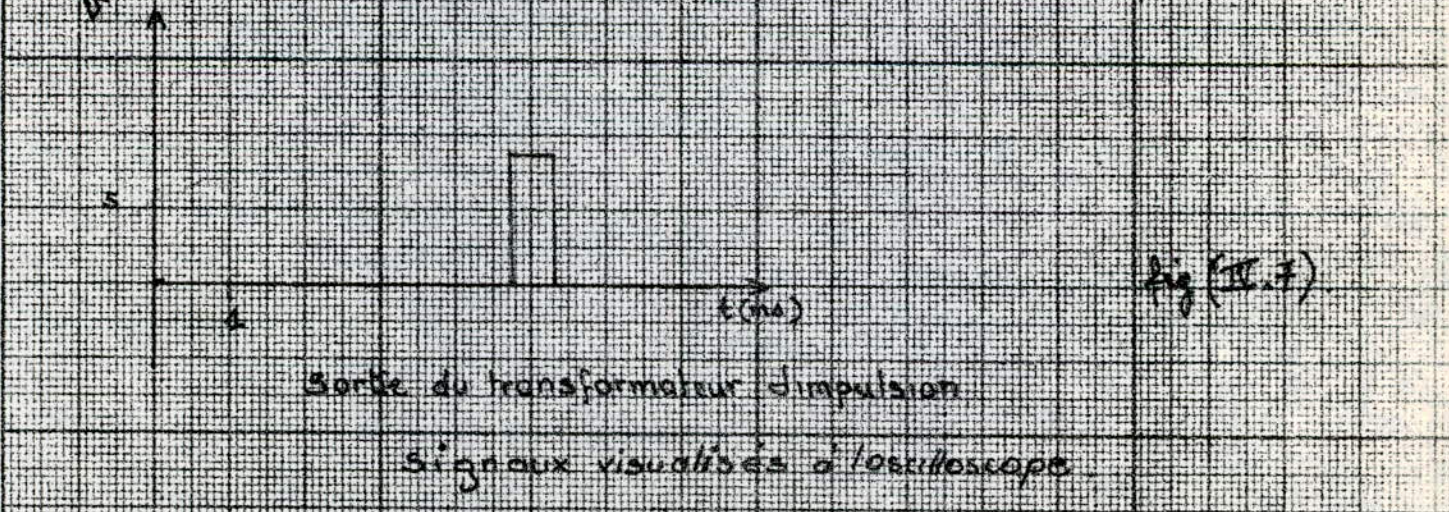
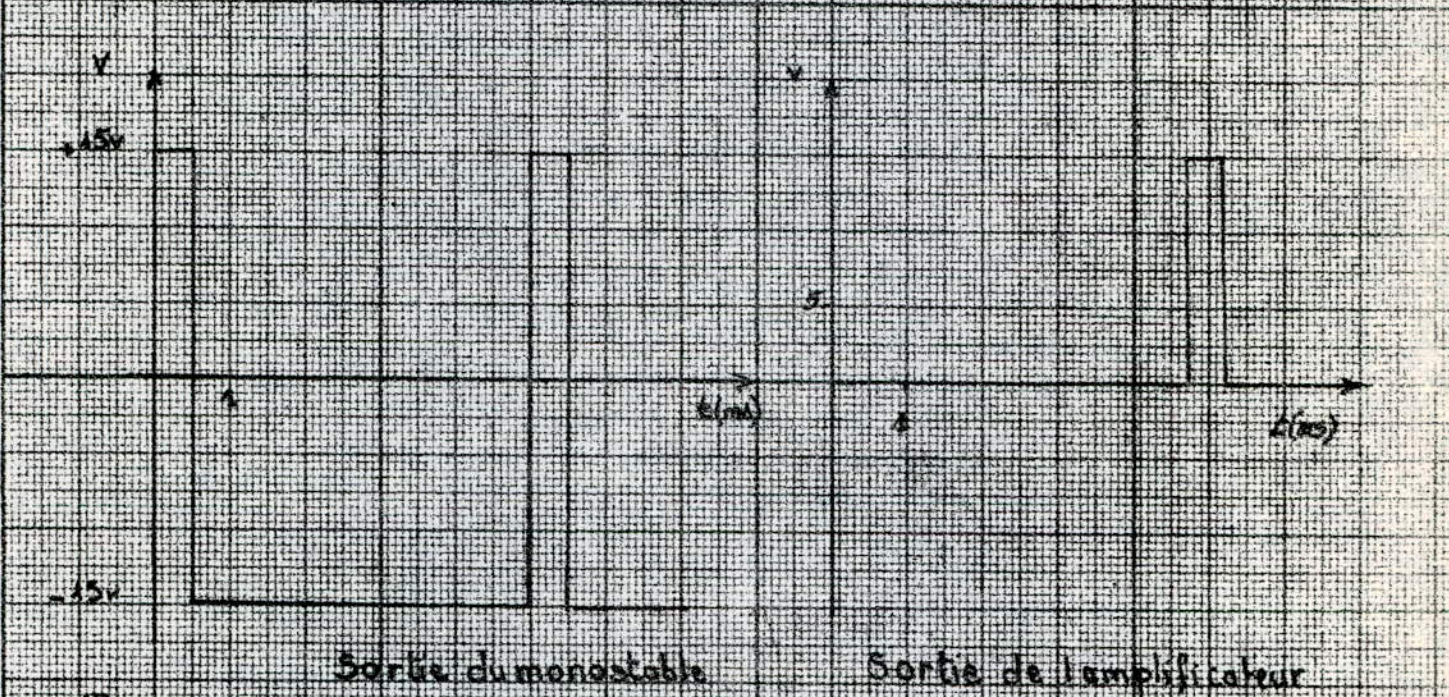
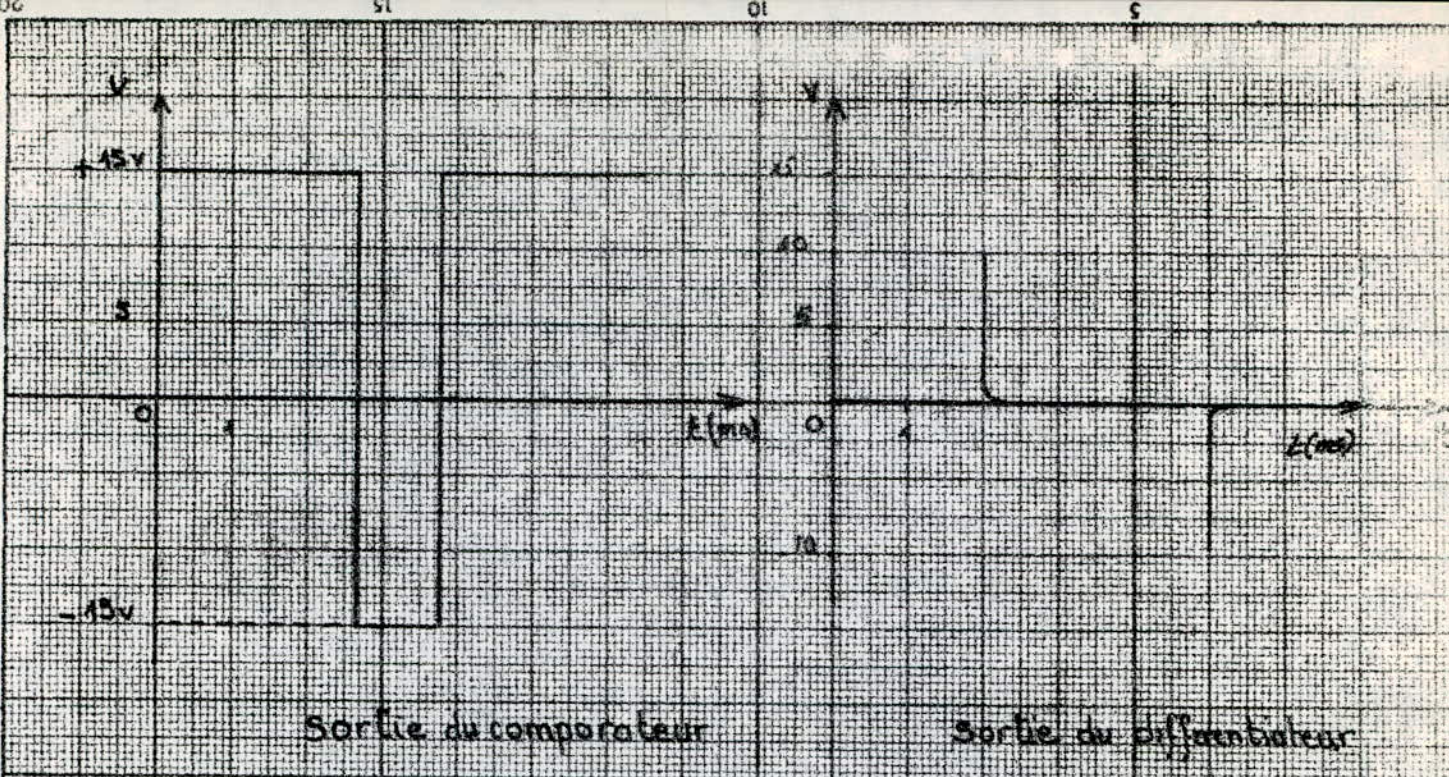
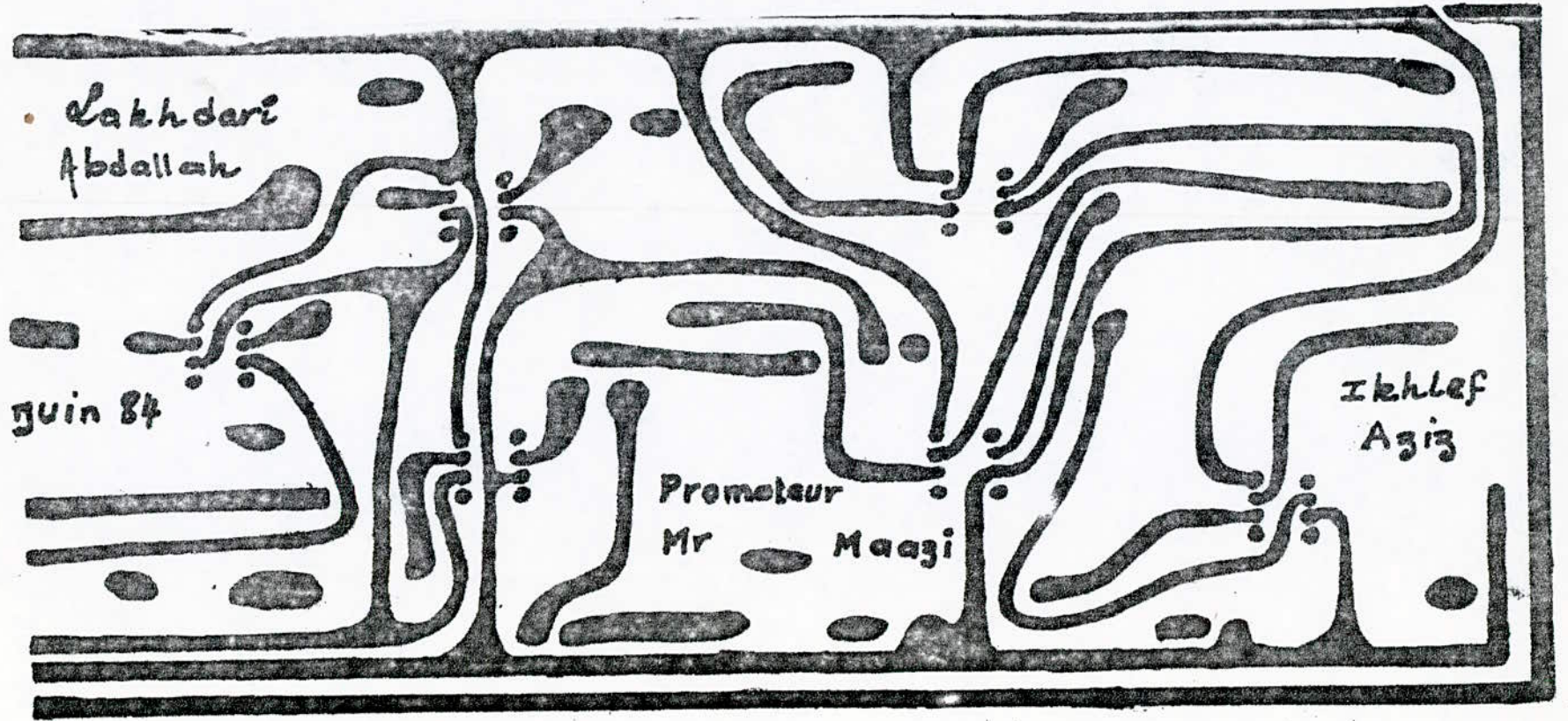


fig (II.F)

signaux visualisés à l'oscilloscope

Circuit imprimé.



Cote' cuivre

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de mettre en œuvre quelques connaissances acquises durant notre cycle universitaire, et de nous familiariser avec l'électronique de puissance. Elle a été menée à terme malgré de nombreuses difficultés rencontrées tout le long du semestre.

En raison de l'étroitesse du temps et du manque de matériel, on s'est contenté de la réalisation de la maquette.

En tenant compte de tout cela, nous estimons que notre travail reste à compléter, et ne présente qu'un début dans la réalisation de tout le système convertisseur continu-continu.

Nous souhaitons que les étudiants qui viennent, prennent la suite de notre travail (fonctionnement réversible, étude du couple en fonction de la vitesse, et autres types de hacheur....).

Nous espérons que ce travail sera utile dans le cadre des TP électronique de puissance (Fen 185).

TABLE DE MATIÈRES

CHAPITRE I	Pages
<i>Généralités Sur Les Semi-Conducteurs</i>	1
1 - <i>Introduction</i>	1
2 - <i>Diode</i>	1
2.1 - <i>Symbole et caractéristique statique d'une diode</i>	1
3 - <i>Thyristor</i>	3
3.1 - <i>Constitution</i>	3
3.2 - <i>Schéma de principe et commande en continu</i>	3
3.3 - <i>Symbole et caractéristique statique d'un thyristor</i>	4
3.4 - <i>Caractéristique dynamique</i>	7
4.1 - <i>phénomène d'amorçage</i>	7
4.2 - <i>Mécanisme de conduction d'un thyristor</i>	7
4.3 - <i>Amorçage sans courant de gâchette</i>	8
4.4 - <i>Temps d'amorçage par la gâchette</i>	8
4.5 - <i>Mécanisme de désamorçage</i>	9
4.6 - <i>Temps de désamorçage</i>	10
5.1 - <i>Pertes dans un thyristor</i>	10
5.2 - <i>Protection des thyristors</i>	15
CHAPITRE II	
<i>Convertisseur Continu-continu (Hacheur)</i>	16
1.1 - <i>Définition</i>	16
1.2 - <i>Principe d'un Hacheur Série</i>	16
1.3 - <i>Principe d'un Hacheur parallèle</i>	17
1.4 - <i>Puissance transférée</i>	17

2.1. Schéma de principe d'un Hacheur Serie	19
2.2. Fonctionnement	19
2.3. Schéma de Principe avec les éléments réels	21
2.4. Schéma de principe avec le circuit auxiliaire	21
2.5. Fonctionnement	23
3.1. Différents Procédés de Hachage	26
3.2. Choix de La fréquence de Hachage	26
4. - Calcul du courant de charge	29
5.1. Influence de La commutation forcée sur La tension	
Continu	33
5.2. Influence de La commutation forcée sur Le courant	33
6. - Différents montages d'un hacheur	37

CHAPITRE III

Réalisation du circuit de Puissance	39
1.1. Caractéristiques d'un thyristor SKT 100	39
1.2. Caractéristiques de La diode SKN 45/40	39
2.1. Protection des thyristors	40
2.2. Protection Contre L'échauffement	40
3 - Dimensionnement du circuit d'extinction	41
3.1. Dimensionnement de L'inductance d'inversion	41
3.2. Dimensionnement du Condensateur d'extinction	42
4.1. Conception de La maquette	43
5. - Résultats expérimentaux	45
5.1. Alimentation d'une résistance pure	45
5.2. Alimentation d'une charge passive de constantes R et L	45
5.3. Alimentation d'une charge active (moteur)	45

Interprétation	46
----------------	----

CHAPITRE III

Commande électronique	54
1 - choix de la commande	54
2 - Circuit de commande	54
1 - Alimentation stabilisée	52
2 - Générateur de rampe	54
3 - Comparateur	58
4 - Multivibrateur monostable	59
5 - Amplificateur de courant	60
- Schéma Synoptique de la commande	61
- Circuit de commande du Hacheur	62

BIBLIOGRAPHIE

R. CHAUPRADE

électronique de puissance; commande des moteurs
à courant continu.

G. SÉQUIER

électronique de puissance; Les fonctions de base
et leurs principales applications.

F. MILSANT.

Cours d'électronique; B-diodes, Thyristors,
Commande des moteurs

H. BÜHLER

électronique de puissance; traité, d'électronique
et d'électrotechnique.

M. MOUNIC - P. MONFORT - J. RICARD.

- travaux pratiques, fascicule IV

M. MOUNIC

Semi-Conducteurs; redressement 1^{re} et 2^e partie

DORVAL

Technique des impulsions; circuit impulsions
et de commande.

M. BORNAND

Moteurs à courant alternatif et leur commande
à thyristors.

